農業試驗所特刊第255號

未來生產力

荔枝及龍眼科研技術精進與產業實務研討會專刊

指導單位：農業部農糧署
編印：農業部農業試驗所
嘉義農業試驗分所
協辦單位：台灣園藝學會
中華民國115年7月出版

未來生產力

荔枝及龍眼科研技術精進與產業實務

研討會專刊

Future Productivity:
Proceedings of the Symposium on Technical Advancements and Industry Practices in Litchi and Longan Production

朱彧瑩、官青杉、張哲瑋　主編

農業部農業試驗所編印

中華民國115年7月

序

荔枝與龍眼是臺灣最具代表性的夏日亞熱帶果樹，不僅承載著濃厚的在地飲食文化，更是中南部果農賴以維生的重要經濟作物。然而，近年來面對全球氣候變遷加劇、極端氣候常態化，以及農村勞動力高齡化與少子化等多重衝擊，傳統的栽培模式正正面臨前所未有的嚴峻挑戰。如何在困境中尋求突破，引領臺灣荔枝與龍眼產業走向永續經營，是我們當前最核心的課題。

農業試驗所作爲臺灣農業科技研發的火車頭，長期致力於品種改良、智慧化精準栽培、病蟲害整合性防治（IPM）及採後冷鏈保鮮等關鍵技術的研發。本次召開「未來生產力：荔枝及龍眼科研技術精進與產業實務研討會」，正是本所凝聚產官學研各界智慧，具體展現近年來科研創新成果的重要里程碑。我們期盼透過這些創新技術的推廣與普及，能爲農友注入實質的未來生產力，讓傳統果園蛻變爲智慧高效的現代化綠色工廠。

在此特別感謝所有參與本次研討會與專刊撰寫的科研同仁、專家學者，以及在田間默默耕耘、勇於嘗試新技術的農友先進們。因爲有大家的熱情投入與無私分享，臺灣的荔枝與龍眼產業才能在挑戰中不斷展現強韌的生命力。讓我們攜手並進，以科技爲槳、以創新爲帆，共同航向臺灣農業更亮麗、更永續的下一個百年。

農業試驗所 所長 王仕賢 謹誌

中華民國 115 年 7 月

序

臺灣的荔枝與龍眼產業，歷經了數十年的環境變遷與技術洗禮，如今正站在轉型升級的關鍵十字路口。近年來，極端氣候對果樹生理帶來的衝擊愈發劇烈，從暖冬導致的開花率不穩定，到果實發育期的異常降雨，無一不考驗著研究人員與第一線農友的應變能力。

產業的永續仰賴「產、官、學、研」整個生態圈的緊密鏈結，本次研討會專刊的出版，正是凝聚了國內各大專院校、農業改良場及本所豐碩研發能量的珍貴結晶。綜觀本專刊的精彩內容，從基礎的開花生理機制解密，到因應氣候變遷的精準灌溉與產期調節等栽培技術；從「以光代藥」防治荔枝細蛾的綠色防疫新思維，到嚴格的外銷用藥風險管控；更進一步延伸至採後果皮褐化抑制與外銷實證，乃至於龍眼花的加工加值利用。這些成果展現了臺灣在荔枝與龍眼科研上的深度，引領現場農友、產銷班與企業走向智慧化、精緻化生產的實務指南。

在此，向所有促成本次研討會與專刊出版的產官學研同仁致上最崇高的敬意。期盼透過本書的發表，能為臺灣荔枝與龍眼產業注入創新躍升的「未來生產力」，讓我們一同攜手，為臺灣熱帶與亞熱帶果樹產業開創更具韌性、更具國際競爭力的嶄新篇章。

農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所 分所長 張哲瑋 謹誌

中華民國 115 年 7 月

未來生產力：荔枝及龍眼科研技術精進與產業實務研討會

時間：２０２６年５月１４日星期四

地點：農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所３F 大禮堂

主辦單位：農業試驗所嘉義農業試驗分所　協辦單位：台灣園藝學會

台灣園藝學會

時間	流程		
9:00-9:15	報到		
9:15-9:25	開幕致詞 / 貴賓致詞	農業試驗所王仕賢所長 / 農糧署/台灣園藝學會	
9:25-9:30	合影		
單元一　產業發展變遷及概況			
時間	講題	講者	主持人
9:30-10:00	臺灣荔枝產業之變遷、環境挑戰與技術轉型綜述	農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所 張哲瑋　分所長	農糧署果樹花卉組 范國慶　組長
10:00-10:20	世界荔枝產業狀況、困境及對策		
10:20-10:45	龍眼產業發展概況	農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所 朱彧瑩　助理研究員	
單元二　生理研究			
10:45-11:10	解密荔枝開花機制	農業部農業試驗所農業化學組 張仁育　副研究員	農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所 張哲瑋　分所長
11:10-11:35	氣候變遷下荔枝穩產及調適作為-以恆春地區栽培模式為例	農業部高雄區農業改良場 林子文　助理研究員	
11:35-12:00	由歷年產量議大樹區荔枝開花與著果之確保	國立臺灣大學園藝暨景觀學系 林宗賢　名譽教授	
12:00-13:00　午餐及休息			
13:00-13:25	以栽培生理角度看'玉荷包'荔枝生殖生長之研究進展、應用與展望	農業部臺中區農業改良場 李昱錡　助理研究員 國立中興大學園藝學系 張哲嘉　教授	農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所 張哲瑋　分所長
單元三　栽培技術研究			
13:25-13:50	氣候變遷下龍眼之催花調適技術及產期調節	農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所 朱彧瑩　助理研究員	國立屏東科技大學農園生產系 梁佑慎　教授
13:50-14:15	荔枝產銷策略分析-澳大利亞及泰國荔枝產業經營與商業模式研究	農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所 柯昱成　助理研究員	
14:15-14:40	荔枝灌溉管理之研究	農業部農業試驗所農業化學組 蔡耀賢　助理研究員	
14:40-15:05	以光代藥-特殊光譜防治荔枝細蛾之創新技術產業化運用	農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所 方信秀　副研究員	
15:05-15:30	外銷荔枝病蟲害與用藥風險管控研究	農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所 吳昭蓉　助理研究員、許祐昇　助理研究員	
15:30-15:45 茶敘			
單元四　採後處理及加工研究			
15:45-16:10	點花成金：龍眼花之保健功效及產業加值潛力	農業部農業試驗所遺傳資源及生物技術組 洪子桓　助理研究員	國立中興大學園藝學系 張哲嘉　教授
16:10-16:35	荔枝果皮採後褐化生理與抑制策略：近年研究彙整	國立屏東科技大學農園生產系 梁佑慎　教授	
16:35-17:00	荔枝外銷紐西蘭之模擬試驗與實證經驗分享	農業部農業試驗所作物組 林沛儒　助理研究員	
17:00-17:30	綜合交流討論	農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所 張哲瑋　分所長	
17:30 賦歸			

目錄

1. 臺灣荔枝產業之變遷、環境挑戰與技術轉型綜述-------------------------------1
2. 世界荔枝產業狀況、困境及對策---10
3. 龍眼產業發展概況---27
4. 解密荔枝開花機制---39
5. 氣候變遷下荔枝穩產及調適作爲-以恆春地區栽培模式爲例------------------45
6. 由歷年產量議大樹區荔枝開花與著果之確保------------------------------------57
7. -以栽培生理角度看玉荷包生殖生長之研究進展、應用與展望--------------79
8. 氣候變遷下龍眼之催花調適技術及產期調節------------------------------------87
9. 荔枝產銷策略分析-澳大利亞及泰國荔枝產業經營與商業模式研究-------101
10. 荔枝灌溉管理之研究--119
11. 以光代藥 - 特殊光譜防治荔枝細蛾之創新技術產業化運用----------------127
12. 外銷荔枝病蟲害與用藥風險管控研究-輸澳大利亞荔枝案例----------------137
13. 點花成金：龍眼花之保健功效及產業加値潛力-------------------------------149
14. 荔枝果皮採後褐化生理與抑制策略：近年研究彙整-------------------------157
15. 荔枝外銷紐西蘭之模擬試驗與實證經驗分享----------------------------------171

臺灣荔枝產業之變遷、環境挑戰與技術轉型綜述

張哲瑋[1]、柯昱成[2]、朱彧瑩[2,*]

[1]農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所 研究員兼分所長
[2]農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所園藝系 助理研究員
*聯繫人 e-mail: yuyingchu@tari.gov.tw

臺灣荔枝產業歷經約三百年的發展，並在近五十年間轉化爲具備高度經濟價值的果樹產業。本研究系統性地梳理臺灣荔枝產業從1970 年代以前的基礎奠定、1970 至 2015 年的全盛轉型，乃至2016 年後因應氣候變遷與勞動力斷層的轉型挑戰。在產業初期，科研力量集中於解決品種混亂、隔年結果與嚴重病蟲害，透過篩選出優良黑葉品種、冬季與化學控梢技術及防治準則的確立，成功穩定產能。全盛時期則透過台農系列新品種的選育，打破了單一品種結構帶來的產銷瓶頸，並克服了玉荷包等高經濟品種的生理障礙。進入轉型期，全球氣候變遷引發的暖冬現象與勞動力老化成爲產業轉型的重大挑戰，本研究提出結合精準管理、物理避蟲及生物防治之轉型建議。最後，針對區域性品種適地佈局提出長遠規劃，旨在建構具備高度韌性與國際競爭力的永續產業藍圖。

關鍵字: 荔枝、品種改良、氣候變遷、技術轉型、綜合病蟲害管理

引言

臺灣荔枝產業的發展，不僅是一段由引種到規模生產的農業變遷史，更是臺灣農業科研技術從經驗科學轉向精準科學的具體實踐。荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)作爲南亞熱帶重要的常綠果樹，其果實品質卓越，且在華人文化圈中具備深厚的歷史情感與市場價值。自三百年前由福建地區引進以來，荔枝在臺灣的土地上經歷了長期的本土化適應過程(張，1961；黃，1966)。

回顧產業的成長曲線，可以發現臺灣荔枝並非一開始就具備如今的高價值。在 1960 年代以前，受限於栽培技術與病蟲害防治能力的不足，產量極度不穩定且品質參差不齊。隨著 1970 年代農業科研體系的完善，臺灣荔枝開始進入快速成長期，並在 1980 年代達到了栽培面積與產量的歷史巔峰。然而，這種快速擴張也帶來了品種過於單一的結構性風險，以及應對自然環境變動的脆弱性(張和張，2017；鄧和方，2012；Chang et al., 2017)。

進入 21 世紀，全球氣候變遷的加劇與社會結構的變遷，使得荔枝產業面臨前所未有的「環境」與「人力」雙重挑戰。產量變異性的急劇擴張，反映出氣候韌性已成爲產業存續的關鍵(張等，2023)。因此，本文透過跨學科的綜述，探討臺灣荔枝如何從早期的基礎技術突破，進入全盛時期的產期調節，最終面對氣候變遷轉型之路，期對於理解臺灣農業的競爭優勢與未來挑戰具有的學術參考價值。

產業規模演進與貿易結構之歷史變遷

1. 栽培面積之消長與產區之動態位移

臺灣荔枝的栽培史起步於引種初期，早期隨移民由福建引入，落腳於屏東崁頂與南州一帶(張，1961；黃，1966)。儘管引種歷史悠久，但產業化規模的眞正起點是在近五十年。在 1963 年時，全臺栽培面積僅約 695 公頃，且當時南投縣佔據了全國產量的一半以上(農糧署，2026)。隨著 1970 年代栽培技術的突破，規模開始呈現幾何倍率增長。至 1988 年，產業迎來了歷史性的輝煌時刻，栽培面積達到了 15,097 公頃之頂峰，年產量更高達 13 萬公噸(張和張，2015；農糧署，2026)。

然而，1990 年代後，隨著栽培問題浮現及市場趨於飽和，面積開始呈現緩慢下降的趨勢。至 2024 年，全臺栽培面積縮減至 9,534 公頃(農糧署，2024)。在產區佈局方面，產業重心發生了顯著的「南移」現象。早期中部產區(臺中、南投、彰化)曾引領風騷，但在 1990 年後，高雄地區憑藉著氣候溫暖、產期較早的優勢，加上高品質品種'玉荷包'在高雄大樹地區的大規模推廣，使得南部逐漸轉化爲全臺核心的荔枝生產基地。相較之下，北部與東部產區則因氣候限制或產業轉型，栽培規模已呈現嚴重縮減(張和張，2017；農糧署，2024)。

表 1. 臺灣荔枝栽培面積及產量之變化(1955-2024) (農糧署，2024)。

年分	面積(ha)	產量(M.T.)	每公頃平均產量(kg)
1955	81	---	---
1960	161	1,093	6,781
1970	2,666	9,572	6,260
1980	6,957	66,894	11,730
1990	14,707	114,922	8,166
2000	11,928	89,403	7,984
2010	11,717	89,440	7,711
2023	9,576	68,031	7,127
2024	9,534	45,137	4,761

表 2. 臺灣荔枝不同地區栽培面積之變化(農糧署，2024)

	1963	1970	1980	1990	2000	2004	2010	2024
北部	66	296	225	232	347	327	157	42
中部	455	1,868	4,611	7,239	5,852	5,842	5,618	5,063
南部	165	392	2,038	7,183	5,632	5,871	5,777	4,322
東部	10	20	53	53	97	110	114	106

表 3. 臺灣荔枝主要產區變化(農糧署，2024)

產區	1997	2004	2014	2024
屏東縣	562	673	797	815
高雄市	3,641	3,422	3,712	3,037
台南市	1,755	1,463	1,231	470
嘉義縣	529	683	759	926
彰化縣	1,287	1,218	999	876
南投縣	1,690	1,639	1,462	1,322
台中市	2,074	2,106	1,985	1,785
合計	12,190	11,870	11,388	9,534

2. 外銷貿易結構之起伏與精緻化轉型路徑

臺灣荔枝鮮果的外銷歷史，是臺灣農業走向國際市場的重要篇章。在 1990 年代初期，臺灣荔枝在東亞市場具備顯著的競爭優勢，1991 年出口量達到 12,831 公噸的巔峰，外銷佔總產量的比例高達 9%以上。當時市場高度集中於香港與菲律賓，是國家獲取農業外匯的重要支柱。隨後，臺灣荔枝憑藉卓越的冷鏈貯運技術，外銷觸角一度延伸至北美市場，出口量曾穩定維持在 3000 公噸的水平(農糧署，2026)。

然而，2000 年後受限於東南亞低價競爭與領先技術流失，外銷規模開始出現崩塌式下滑(曾，2012；詹，2012)。2002 年臺灣加入 WTO 後，因被列為果實蠅疫區，輸往高端市場如日本時需經過嚴格的高溫處理，導致成本大幅攀升(曾，2012)。至 2025 年，外銷量已銳減至 119 公噸(農糧署，2026)。目前的外銷結構已完全轉向「高品質、高溢價」的日本市場，這標誌著產業已從大眾化外銷轉變為以供應國內市場為主、高端外銷為輔的精緻化結構。

3. 品種多元化路徑與科研技術之歷史累積

1970 年以前的產業奠基：品種篩選與早期技術突破

在 1970 年代以前，臺灣荔枝產業尚處於發展初期，面臨著「品種混亂」、「隔年結果」與「病蟲害猖獗」三大核心瓶頸。當時的栽培品種多為果農引進後自行繁殖，名稱不一且性狀極不穩定，導致市場交易混亂(張，1973)。此外，荔枝的「大小年」結果習性，使得產量劇烈波動，農民收益極不穩定。更嚴重的是，當時「荔枝細蛾」等蟲害還未能有效防護，果實受害率極高。

為了解決這些問題，自 1970 年(民國 59 年)起，由農復會補助嘉義農業試驗分所進行品種調查，選定優良母樹。研究發現'黑葉'品種最富經濟價值，因此將其定為主要品種進行企業化發展。此後全臺種植面積迅速擴大，品種單一化的策略在當時順利帶動了產業規模化(張，1973)。在技術端，研究人員開發了早期的冬季剪梢技術，透過在冬季修剪未成熟的梢頭，強迫植株進入休眠以促進花芽分化(張和陳，1979)。隨後，化學控梢技術(如噴施益收生長素)的引入，使得控梢管理更具效率。配合初步確立的病蟲害防治準則(湯，1961；黃和謝，1983；黃，1988)，成功穩定了單位面積產量，使產能由 1955 年的低迷狀態，演進至 1980 年代的翻倍增長，為後來的產業全盛期奠定了技術基石。

1970 至 2015 年的全盛轉型：育種突破與產期調節

隨著基礎技術的成熟，產業進入了追求「多元化」與「高品質」的全盛轉型期。此時期最大的挑戰在於'黑葉'品種占比過高(曾高達 99%)(張和張，2017)，導致產期過度集中於 6 月，造成嚴重的產銷壓力。農業試驗所自 1982 年起啓動了宏大的雜交育種計畫，目標在於開發具備早熟、晚熟及高品質特性的新品種(張等，2012；顏等，1984；Chang et al., 2017)。

這項長期的育種工程催生了著名的「台農系列」品種。例如，'台農 6 號艷荔'與'台農 2 號旺荔'具備低涼溫需求與極早熟特性，成功將產期提前至 3、4 月(鄧，2012；鄧和陳，2011；鄧和劉，2007a)；而'台農 3 號玫瑰紅'與'台農 4 號吉荔'則透過不同的熟期佈局，將供貨期延伸至 8 月(張等，2009；鄧，2012；鄧和劉，2007b)。透過這些科研成果的應用與適地適種政策，臺灣荔枝成功將原僅 1.5 個月的短促產期大幅延長至 5 個月，有效解決了單一品種帶來的市場衝擊(張等，2005； 2010； 2012；2014)。

表 4. 臺灣荔枝品種與栽培面積(張和張，2017；李和張，2022)

年代	品種	栽培面積(公頃)	比例(%)
1991	黑葉	14,700	99
	其他	200	1
2005	黑葉	10,180	86
	玉荷包	1,420	12
	其他	250	2
2012	黑葉	8,550	70
	玉荷包	2,840	25
	其他	310	5
2022	黑葉	4,811	49.9
	玉荷包	3,374	35
	糯米糍	472	4.9
	其他	906	9.4

4. 高經濟價值品種生理障礙之克服

高品質品種'玉荷包'的成功，是臺灣荔枝產業由量轉質的關鍵。然而，'玉荷包'早期存在著嚴重的著果不穩與生理落果問題，導致其產量極度波動(鄧，1990)。研究人員透過對其開花生理的深層探究，開發出了精準的促花、控梢、矮化栽培與人工疏花技術顯著提升了'玉荷包'的著果穩定性(張等，2023；鄧，1994；1996；2006，Chang et al., 2017)。此外，大規模推廣「高接技術」，協助農民將低價的'黑葉'老園快速轉換爲高品質的'玉荷包'園(張等，2009；鄧，2006)，這一系列的技術整合，成功讓玉荷包在 2022 年時佔比提升至 35%，成爲臺灣荔枝產值的核心(李和張，2022；張和張，2017)。

轉型期之環境威脅與防禦技術之演進

1. 極端氣候變遷與勞動力結構之雙重脅迫

2016 年以後，臺灣荔枝產業正式邁入嚴峻的轉型期。此時期最大的挑戰在於氣候變遷引發的產能不穩定。荔枝花芽分化極度依賴冬季的低溫誘導(Cool temperature induction)，然而暖冬現象的頻率與強度增加，導致低溫時數往往無法達到門檻。數據顯示，近十年的天然災害損失中，由暖冬引起的災損比例已超過 60%，2019 年更曾發生大範圍的不開花現象，造成產業巨大打擊(行政院農業委員會，2022；張等，2023)。

產量變異係數(CV)的數據也揭示了危機：從 2002-2011 年間的 11.95%劇增至 2012-2021 年間的 30.15%(張等，2023)，這反映出傳統栽培管理在極端氣候下的脆弱性。除了溫度的影響，春季霪雨導致的授粉不良，以及秋季多雨不利於控梢，皆使得生產風險大幅提升。與此同時，農村勞動力老化、季節性缺工與勞力成本攀升，使得採收與繁瑣的田間管理(如人工疏花)困難度激增，迫使許多栽培者選擇縮減規模甚至廢園(Chang et al., 2017; 2022)。

2. 氣候韌性栽培管理與物理防護技術

為應對氣候威脅，研究單位發展出多項具備高度科學基礎的技術措施。針對暖冬的衝擊，研究人員研究了花芽分化的溫度閾值(方等，2022；張，1999；張等，2023；張和鄭，2001；Chen et al., 2016; Chang et al., 2025)，並推廣「韌性調適技術」，核心在於全年度的動態調整，包括精準控梢及修剪與施肥策略，透過維持適度的老葉葉面積以增強植株對低溫的感應能力，降低對絕對低溫的依賴。此外，設施內開發的「冰水霧化噴霧系統」，可於夜間有效降低冠層溫度，為花芽分育創造有利微氣候。

在病蟲害防治方面，除了加強病蟲害監測管理，產業已逐步從化學噴藥轉向物理與生物綜合管理。利用「夜間綠光 LED 燈照」技術產生生物性避蟲效果，能顯著降低荔枝細蛾與吸果夜蛾的受害率(方等，2022；Fang et al., 2023)。針對近年肆虐的外來害蟲「荔枝椿象」，則結合無人機遙測定位、化學藥劑精準噴施，以及大規模釋放「平腹小蜂」進行生物防治，透過寄生寄生卵的方式降低蟲口密度。這些技術的整合應用，成功在減少化學用藥的前提下，維護了產量與食品安全(吳等，2019；Wu et al., 2020)。

永續發展策略：區域佈局、品種權與自動化

1. 區域化適地適種與品種替代戰略

面對未來持續暖化的預測，臺灣荔枝產業必須採取更具前瞻性的區域佈局。南部產區(如高雄、屏東)因冬季氣候最暖，應優先更換為低涼溫需求且極早熟的品種，如'台農 6 號豔荔'，以利用氣候優勢搶佔早春市場，並大幅降低暖冬導致的不開花風險。中部產區則可維持高品質品種如'玉荷包'、'台農 7 號早大荔'或'台農 3 號玫瑰紅'、'台農 4 號吉荔'的生產，但需加強設施栽培以應對降雨衝擊。北部則可專注於晚熟抗風與特殊風味品種的選育，例如'台農 5 號紅寶石'。透過區域化的品種差異配置，能有效分散氣候風險，並在市場供需上形成穩定的梯次(張等，2012；張和張，2017)。對研究單位，低涼溫需求及/或耐儲運的品種應列為優先選項。

2. 智慧自動化管理與省力化果園建構

針對勞動力斷層，未來果園設計必須朝向「機械化適應」轉型。推動果園矮化栽培與標準化行株距設計，是導入自動化採收輔助、無人機噴藥與智慧灌溉系統的前提。研發省力化的採收後處理設備，如自動分級與自動包裝線，能顯著降低人力需求。透過大數據與微氣候感測器的結合，農民可透過手機遠端監控田間狀況並精準實施生理調節(張和張，2015)，這不僅能吸引青農回流，更是確保產業在高勞力成本時代永續經營的關鍵。

結語

3. 跨越三載，建構具備韌性的產業新藍圖

臺灣荔枝產業的三百年變遷，是一個從零星引種到科研主導、從單一品種到多元佈局、從經驗管理到智慧農業的漫長過程。1970 年代以前的基礎突破穩定了產量，1970 至 2015 年的研發成果豐富了結構，而 2016 年後的技術創新則在應對前所未有的氣候韌性挑戰。

展望未來，臺灣荔枝產業不應僅停留在「生產者」的角色，更應轉化爲「技術與品牌」的擁有者。透過適地適種的區域策略、嚴謹的品種權管理經營模式，以及科技賦能的智慧化生產體系，臺灣荔枝將能克服氣候與人力的雙重束縛。這不僅能延續這項傳統果樹的文化價值，更能透過高值化與品牌化的轉型，在變動的全球市場中，持續展現臺灣農業的韌性與科研實力。

參考文獻

方信秀、李文立、邱國棟、董致韡、蔡育彰。2022。夜間特殊光譜燈照防治荔枝細蛾(*Conopomorpha sinensis*)技術應用。植物防檢疫新技術之開發與應用 121-140。

方信秀、邱國棟、徐智政、李文立。2022。運用氣象資料預測當期荔枝產量之可行性研究。臺灣農業研究 71:343-357。

行政院農業委員會。2022。臺閩地區農作物災害損失。https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/official/OfficialInformation.aspx。

李昱錡、張哲嘉。2022。'玉荷包'荔枝花序發育與結實特性影響果實生產之研究進展與因應。2022 臺灣果樹研究與發展研討會專刊 81-95。

吳怡慧、潘宣任、吳登楨、詹甘伊、盧美君。2019。平腹小蜂應用於荔枝椿象(*Tessaratoma papillosa*)防治之效益及未來願景。2019 有益昆蟲在友善農耕之應用研討會專輯 25-31。

洪士程、何坤耀、陳健忠。2008。嘉義地區新發現荔枝癭蚋(*Litchiomyia chinensis*)(雙翅目：癭蚋科)爲害初報。台灣昆蟲 28: 315-320。

許明達。2012。荔枝外銷檢疫處理作業簡介。臺灣荔枝產業佈局研討會專刊 69-76。

張仁育、張宇安、方明義、林美莉、張哲瑋。2014。評估荔枝翌年開花所需當年生枝條末段梢成熟之邊際時間點。臺灣園藝 60:27-39。

張振宙。1961。臺灣荔枝現狀。中華農學會報 33: 51-62。

張振宙。1973。從品種選擇談荔枝事業的發展。豐年半月刊 23(13):15。

張振宙、陳吉雄。1979。剪除糯米糍荔枝冬季嫩梢對產生花序之效果。中國園藝 25(5&6): 207-209。

張哲瑋。1999。荔枝開花之調控。國立臺灣大學園藝學研究所（博士論文）。臺北。

張哲瑋。2012。荔枝新品種「台農 1 號翠玉」、「台農 3 號玫瑰紅」、「台農 5 號紅寶石」、「台農 7 號早大荔」特性及栽培注意事項。農業世界 349:12-16。

張哲瑋、程永雄、顏昌瑞、徐信次、趙政男、田永柔、何昭吉、林俊義。2005。荔枝新品種台農 1 號翠玉之育成。臺灣農業研究 54:43-53。

張哲瑋、朱彧瑩、柯昱成、陳柱中、方信秀、莊凱恩、陸明德。2023。氣候變遷下荔枝園管理調適。112 年度農業生態系長期生態研究研討會。

張哲瑋、張仁育。2015。世界荔枝貿易與我國荔枝鮮果外銷方向。植物種苗生技 41: 46-51。

張哲瑋、張仁育。2017。荔枝產業結構的調整與產期調節研究。

張哲瑋、鄧永興。2012。以新品種布局因應我國荔枝產銷失衡之策略。農業世界 349:22-27。

張哲瑋、鄧永興、顏昌瑞。2008。臺灣荔枝育種。荔枝產業發展研討會專刊：65-78。柯立祥、顏昌瑞主編。國立屏東科技大學農園系。屏東。

張哲瑋、鄧永興、顏昌瑞。2012。臺灣荔枝新品種介紹與佈局策略。臺灣荔枝產業佈局研討會專刊 25-38。

張哲瑋、顏昌瑞、徐信次、王婉伶、蔡武雄、程永雄、何昭吉。2009。荔枝新品種台農 3 號玫瑰

紅之育成。臺灣農業研究 58(3):208-218。
張哲瑋、顏昌瑞、王婉伶、劉茂南。2010。荔枝新品種台農 5 號紅寶石之育成。臺灣農業研究 59(3):197-208。
張哲瑋、顏昌瑞、王婉伶、劉茂南、張仁育。2014。荔枝新品種台農 7 號（早大荔）之育成。臺灣農業研究 63(1):43-56。
黃弼臣。1966。荔枝。中興大學。台中市。
黃弼臣、翁愼微。1978。荔枝樹晚發新梢處理對增進結果之效果 第一報。中國園藝 24(2&3): 121-126。
黃振聲、謝豐國。1983。荔枝、龍眼可可細蛾之生態、爲害習性及防除。台灣農業 19:61-63。
黃振聲。1988。荔枝及龍眼主要害蟲之生態及防治。中華昆蟲特刊第 2 號:33-42。
黃振聲、洪巧珍。1993。荔枝細蛾(*Conopomorpha sinensis* Bradley)套袋及藥劑防治研究。植物保護學會會刊 35: 225-238。
曾麗珍。2012。臺灣荔枝產業現況及輔導措施。臺灣荔枝產業佈局研討會專刊 1-8。
湯慶銓。1961。荔枝花序捲葉蟲及果實蛀蟲藥劑防治試驗。植物保護學會會刊 3(4): 59-60。
詹益昌。2012。臺灣荔枝國際市場競爭力分析。臺灣荔枝產業佈局研討會專刊 67-68。
農糧署。2026。農業統計年報。
農糧署。2024。農業統計資料。
鄧永興。1990。玉荷包荔枝之栽培管理。台灣省農業試驗所技術服務 1990(3): 25-27。
鄧永興。1994。玉荷包荔枝栽培試驗。臺灣經濟果樹栽培技術及應用研究研討會專集 93-97。
鄧永興。1996。玉荷包荔枝密植栽培之修剪與花期調節。國立臺灣大學園藝學系（博士論文）。臺北。
鄧永興。2006。如何延長台灣玉荷包荔枝產期。農業試驗所技術服務 67: 5-8。
鄧永興。2012。荔枝新品種台農 2、4、6 號之特性及管理。農業世界 349:17-21。
鄧永興、陳甘澍。2011。荔枝新品種台農 6 號豔荔之育成。農業試驗所技術服務 87:05-08。
鄧永興、劉政道。2007a。荔枝新品種台農 2 號旺荔之育成。農業試驗所技術服務 71:06-09。
鄧永興、劉政道。2007b。荔枝新品種台農 4 號吉荔之育成。農業試驗所技術服務 72:04-07。
顏昌瑞、廖玉琬、田永柔。1984。臺灣之荔枝品種及其改良。中國園藝 30:210-222。
Chang, J.C.; Lin, T.S.; Yen, C.R.; Chang, J.W.; Lee, W.L. Litchi Production and Improvement in Taiwan. J. Agric. Assoc. Taiwan 2009, 10(1), 1–10.
Chang, J.W.; Chen, P.A.; Chen, I.Z. Litchi breeding and plant management in Taiwan. In The Lychee Biotechnology, 1st ed.; Kumar, M., Kumar, V., Prasad, R., Varma, A., Eds.; Springer: Singapore, 2017; pp. 31–58.
Chang, J.Y.; Tang, L.; Lin, M.L.; Chang, Y.A.; Chang, J.W. Inflorescence pruning and cincturing after full female bloom improve 'Yu Her Pau' litchi (*Litchi chinensis*) fruit bearing. Fruits 2022, 77(4), 1-10.
Chang, J.; Tang, L.; Chen, C.C.; Zhang, Y.T.; Chen, C.L. Prediction of Inflorescence Emergence in 'Yu Her Pau' Litchi Under Climate Change Using an Optimised Model. Food and Energy Security 2025, 14(1), e70032.
Chen, P.A.; Lee, C.L.; Roan, S.F.; Chen, I.Z. Temperature model of litchi flowering — From induction to anthesis. Scientia Hort. 2016, 205, 106-111.
Fang, H.H.; Lee, W.L.; Chiu, K.T.; Ma, H.Y.; Yang, S.H.; Hung, C.Y.; Chen, H.L.; Tung, C.W.; Tsai, Y.C. Irradiation with green light at night has great effects on the management of Conopomorpha sinensis and maintains favorable litchi fruit quality. Sci. Hortic. 2023, 312, 111830.
Wu, Y.H.; Kamiyama, M.T.; Chung, C.C.; Tzeng, H.Y.; Hsieh, C.H.; Yang, C.C. Population Monitoring, Egg Parasitoids, and Genetic Structure of the Invasive Litchi Stink Bug, Tessaratoma papillosa in Taiwan. Insects 2020, 11(10), 690.

An Overview of the Evolution, Environmental Challenges, and Technical Transformation of Taiwan's Lychee Industry

Jer-Way Chang[1], Yu-Cheng Ko[2] and Yu-Ying Chu[2,*]

1 Researcher and Branch Director, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Ministry of Agriculture; jerway@tari.gov.tw;
2 Assistant Researcher, Department of Horticulture, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Ministry of Agriculture; axyz0852406@tari.gov.tw; yuyingchu@tari.gov.tw
* Correspondence: yuyingchu@tari.gov.tw

Abstract

The lychee industry in Taiwan has undergone approximately 300 years of development, evolving into a highly valuable economic fruit sector over the past 50 years. This study systematically reviews the transformation of the industry, covering its foundational phase prior to 1970, the golden era of expansion from 1970 to 2015, and the current challenges of adapting to climate change and labor shortages since 2016. During the initial stage, scientific efforts focused on resolving varietal confusion, alternate bearing, and severe pest issues. Stability in production was achieved through the selection of superior "Heiye" clones, the development of winter and chemical shoot control techniques, and the establishment of pest management protocols. During the industry's peak, the breeding of the Tainung series successfully addressed market bottlenecks caused by varietal homogenization and overcame the physiological barriers of high-value cultivars such as "Yu Her Pau." In the current transition phase, warm winters induced by global climate change and an aging agricultural workforce have emerged as primary challenges. This study proposes strategic transformations integrating precision management, physical pest exclusion, and biological control. Finally, long-term planning regional varietal adaptation is presented, aiming to construct a sustainable industrial blueprint characterized by high resilience and international competitiveness.

Keywords: Lychee, Varietal Improvement, Climate Change, Technical Transformation, Integrated Pest Management (IPM)

世界荔枝產業狀況、困境及對策

張哲瑋 [1,*]、柯昱成 [2]、朱彧瑩 [2,*]

1 農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所 研究員兼分所長
2 農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所園藝系 助理研究員
*聯繫人 e-mail: jerway@tari.gov.tw; yuyingchu@tari.gov.tw

本文綜述全球荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)產業之生產現況、品種利用、國際貿易及面臨的產業困境，並以中國大陸爲例探討發展對策。目前全球荔枝年產量約 400 萬公噸，其中中國、印度及越南合計產量占全球 90% 以上。受到果實極不耐貯藏及各產區國內需求龐大影響，全球荔枝的出口貿易量僅占總產量不到5%。全球產業正面臨四大挑戰：優勢品種導致採收期過於集中、氣候變遷引發產量不穩定、採後損失率高(20%—40%)，以及勞動力短缺導致生產成本攀升。爲應對上述問題，中國大陸近年積極推動產業轉型與科技升級。在品種策略上，透過選育低需冷量、耐貯運及極早或極晚熟品種來優化產期結構並提升市場溢價；在育種技術上，利用基因體學與分子標記輔助選種，顯著縮短育種週期並精準選拔開花與品質性狀；在採後與自動化方面，發展 AI 影像辨識、液氮速凍與集成化物理控制冷鏈，有效降低損耗並擴大外銷潛力。這些因應對策可供全球其他生產區域作爲產業升級之參考。

關鍵字： 荔枝 (*Litchi chinensis* Sonn.)、產期優化、氣候韌性、精準育種、採後處理

引言

荔枝屬於無患子科(Sapindaceae)。它又分爲三個亞種，即中國荔枝(*Litchi chinensis* chinensis)、菲律賓荔枝(*L. chinensis* philippinensis 及爪哇荔枝(*L. chinensis* javensis),它們原產地分別位於中國、菲律賓和爪哇島(Subhadrabandhu and Stern, 2005)。中國亞種的選育品種被廣泛栽培。有些學者認爲荔枝應被視爲兩個獨立的物種，即中國荔枝(*L. chinensis*)和菲律賓荔枝(*L. philippinensis*)(李等，2008)。中國荔枝作爲商業品種，據信起源於中國南方、越南北部和馬來半島的亞熱帶地區(Groff,1921；Menzel and Simpson, 1990，1991a；Wu, 1998；Hai and Dung, 2002)。

然而，荔枝的確切起源中心和馴化歷史仍然未知。近期，研究人員利用高雜合度栽培品種'妃子笑'(2n = 2x = 30)的高品質參考基因組，結合對 72 份野生或栽培種質的分析，探索了荔枝基因組的結構和進化，以及其起源和馴化歷史(Hu et al., 2022)。研究顯示兩次獨立的馴化事件。極早熟品種是由雲南的野生族群馴化而來，該族群包括雲南野生種質(YNWs)和越南野生種質(VNWs)。相較之下，晚熟品種則是由海南的野生族群獨立馴化而來。早熟品種如'妃子笑'可能是廣東透過極早熟品種與晚熟品種雜交培育而成的(Hu et al., 2022)。

荔枝的種植在 17 世紀末之前僅限於中國南方和越南北部，之後才傳播到其他國家，包括 1700 年傳入泰國和緬甸(Huang et al., 2005)，1720 年之前傳入臺灣(Yen，2008)，1798 年傳入印度(Singh and Babita, 2002)，1802 年傳入馬達加斯加和模里西斯(Huang et al., 2005)，19 世紀中期傳入澳洲(Huang et al., 2005)，1873 年傳入夏威夷(Nakasone and Paull, 1998)，1875 年傳入南非(Milne, 1999)，1903 年傳入佛羅里達州(Knight, 2001)。荔枝於 1916 年傳入菲律賓(Sotto, 2002)，於 1930 年代傳入以色列(Huang et al., 2005)。目前，荔枝在約 20 個國家種植，這些國家大多位於南北半球緯度 17°至 26°之間。然而，在沿海地區或河谷地帶，荔枝的種植範圍可以擴展到更高的緯度 32°(Chen and Huang, 2014)。本文綜述了全球荔枝的生產、品種利用、 全球貿易，以及產業所面臨的困境及可能的對策。

世界生產概況

世界荔枝產量估計爲 400 萬噸，其中超過 95%的產量集中在北半球。主要生產國包括中國、印度、越南、泰國、臺灣、孟加拉和尼泊爾。其中，中國、印度及越南這 3 個國家。合計的產量就占全世界的 90%以上(FAO.,2025)。在南半球，馬達加斯加和南非是主要生產國。較小的生產國包括澳洲、巴西、以色列、美國、墨西哥、菲律賓、印尼、加那利群島、模里西斯、留尼旺、辛巴威和莫三比克(Huang et al., 2005)。

據估計，全世界約有 600 種荔枝品種(Mitra and Pan, 2020)。然而，只有少數品種具有重要的商業價値。表 1 列出了不同國家的荔枝產量和主要品種。在北半球，荔枝的收穫季節通常從 3 月下旬持續到 8 月，高峰期在 5 月至 7 月之間。相較之下，在南半球，荔枝的收穫季節從 10 月持續到隔年 4 月，大部分收穫集中在 11 月至隔年 2 月之間(圖 1)。

中國的荔枝

荔枝在中國至少有 2300 年的栽培歷史(李，2008)。目前，中國是全球最大的荔枝生

產國，其種植面積和產量分別佔全球總產量的 80%以上和 70%以上(Huang et al., 2005；Wang et al., 2008)。儘管中國荔枝種植歷史悠久，但近幾十年來，該產業的發展經歷了顯著擴張。從 1950 年代到 1980 年代初，荔枝種植面積約 5 萬公頃，年均產量約 6 萬噸，鮮荔枝的供應無法滿足市場需求。到 1990 年，荔枝種植面積迅速增加到 161,700 公頃，產量達 223,000 噸(吳，1998；Huang et al., 2005)。至 2000 年，種植面積增加到 590,750 公頃，產量達 891,900 噸(李，2008 ；Huang et al., 2005)。2018 年種植面積 551,700 公頃，總產量接近 3,020,000 噸。主要產區爲廣東、廣西、福建及海南，種植面積分別爲 27.4 萬公頃、20.99 萬公頃、3.49 萬公頃及 2.57 萬公頃(Xu, 2020)。與 2000 年相比，廣東、廣西和福建的種植面積目前分別減少了 3.756 萬公頃、1200 公頃和 2300 公頃。相較之下，海南省的種植面積增加了 7,220 公頃(李，2008；Xu, 2020)。根據較新的文獻，中國荔枝種植面積 526,100 公頃，總產量接近 2,227,000 噸(齊等, 2023)。

中國荔枝目前已鑑定出 200 多個具有獨特特徵的栽培品種、品系或個體選育品種，但目前僅有約 20 個品種在栽培(Huang et al., 2005)。商業栽培品種數量有限及其分佈限制了荔枝產業的進一步發展(Xu, 2020)。根據成熟期，荔枝品種可分爲三類：極早熟品種(EEMC)、早中熟品種(EMC)和晚熟品種(LMC)(Liu and Mei, 2005)。極早熟品種的代表品種是'三月紅'，而'妃子笑'、'白糖罌'和'黑葉'等知名品種則屬於早中熟品種，而'淮枝'、'桂味'和'糯米糍'等則屬於晚熟品種(JG Li et al., 2008)。極早熟品種產量稀少，在荔枝總產量中價值較低，而果實品質最高的品種大多屬於晚熟品種(Hu et al., 2022)。在中國，荔枝的成熟期約爲 130 天，從海南的'三月紅'在 4 月中下旬開始，到四川的'蘭木葉'在 8 月中旬結束(Huang et al., 2005；Xu, 2020)。以海南產的'三月紅'、'妃子笑'和'白糖罌'爲基礎的 EEMC 組和 EMC 組的部分品種顯著延長了採收期。然而，廣東、廣西和福建的荔枝產量主要以 EMC 和 LMC 品種爲主(Huang et al., 2005；李等, 2008；Qi et al., 2020)主要收穫期僅持續 50 天，從 5 月下旬到 7 月中旬(Huang et al., 2005)。2000 年代初期，'黑葉'(包括福建的'烏葉')和'淮枝'(包括廣西的'禾荔')的種植面積分別佔全國總種植面積的 30%(Wang et al., 2008)。在廣西，超過 80%的種植面積以'禾荔'品種爲主(Chen and Huang, 2001)。過去 10 年，'淮枝'和'黑葉'的種植面積分別下降了 20.15%和 13.20%(Qi et al., 2020)。但在廣東，'黑葉'和'淮枝'仍佔總產量的 59.24%(Xu, 2020)。在廣西，'黑葉'與'禾荔'合計佔總產量的 70%(徐和岑，2020)，而在福建，'黑葉'約佔總產量的 75%(歐和齊，2018)。這幾年中國大陸推行荔枝品種結構優化政策，情況改觀。'妃子笑'的生產面積大幅增加已超過全國的 30%。它也是廣東與海南島的主要品種(陳等，2024；胡等，2020)。'黑葉'仍爲廣西及福建的主要品種(陳等，2024)。而'淮枝'則大幅度的減少其在全國面積的佔比已不足 15%(齊等，2023)。2022 年按產量排前 10 名的品種由高到低依序爲'妃子笑'、'黑葉'、'淮枝'、'白糖罌'、'白臘'、'桂味'、'雞嘴荔'、'雙肩玉荷包'、'大紅袍'、'糯米糍'。這些品種的總產量佔該地區所有荔枝品種總產量的 86.05%。其中，產量排名前五的品種的產量佔該地區年總產量的 72.71%(齊等，2023)。

印度荔枝

印度是世界第二大荔枝生產國(Mitra and Pan, 2020)，其發展最迅速的時期是過去 70 年。種植面積從 1949 年的 9,400 公頃增加到 1998 年的 56,200 公頃，再到 2018 年的 92,340 公頃。在 2021 年約 99,000 公頃，總產量 72.8 萬公噸，平均產量約 7.35 噸/公頃(Huang et al., 2005 ；Kumar and Ray, 2020 ；Kumar and Ray, 2026)。目前全印度有 19 個邦種植荔枝荔枝，位於印度東部和北部，主要供應來自比哈爾邦(Bihar)、西孟加拉邦(West Bengal)、賈坎德邦(Jharkhand)等 6 個邦。比爾邦是最重要的荔枝產區，其產量占全國總

量的 42.5%(Kumar and Ray, 2026)。印度的荔枝生產主要基於約 50 個已命名的栽培品種，其中大部分是從中國引進的實生苗或營養繁殖系，以適應炎熱乾燥的氣候條件(Ghosh et al., 2001)。'Shahi'、'Bombai'、'China'、'Rose Scented'、'Dehradun' (又稱'Dehra Rose')、'Muzaffarpu'、'Early Bedana'、'Late Bedana'和'Calcutta' (又稱'Calcuttia')是重要的商業品種。收穫季節從 4 月 15 日(到 6 月第 3 週，反季節荔枝生產(12 月至 1 月)在南部各邦海拔較高(1000 公尺以上)的地區(Kashyap and Thakur, 2017)。

越南荔枝

越南荔枝種植面積位居世界第三，僅次於中國和印度，但其商業化生產直到 20 世紀 80 年代才開始。此後，種植面積迅速成長，2000 年種植面積爲 35,352 公頃，產量爲 5 萬噸(Hai and Dung, 2002)。 2018 年，種植面積達 58,340 公頃，平均產量爲 6.52 噸/公頃，總產量爲 380,600 噸(Dung et al., 2020)。北江省(Bac Giang)、海陽省(Hai Duong)、廣寧省(Quang Ninh)、太原省(Thai Nguyen)和興安省(Hung Yen)是主要的產區，其中北江省即超過一半的種植面積(Dung et al., 2020)。據估計，越南有超過 33 個荔枝品種(李等，2008，Hai and Dung, 2002)。然而，目前只有 7 個品種進行商業化種植，這些品種分爲早熟品種(佔總種植面積的 20%)和主栽品種(佔總種植面積的 80%)。早熟品種包括'Binh Khe'、'Lai Thanh Ha'、'U Hnong'、'U Hong La Van'、'Phuc Hoa'及'Lai Phu Cu'，採收期在五月中旬。主要品種'Thieu Thanh Ha'的採收期爲 6 月 1 日至 7 月 10 日。一般來說，早熟荔枝品種的果實比'Thieu Thanh Ha'大(25.1-33.5 克 vs 20.7 克)，但品質略遜一籌， 總可溶性固形物含量(15.5-17.5% vs 21.2%)和果肉回收率(70.4-71.9% vs 75.8%)均高於晚熟品種。近年來，早熟品種往往利潤更高，因爲它們避開了生產高峰期，並且在溫暖的冬季具有更穩定的開花結果優勢。培育早熟荔枝品種將是未來越南荔枝產業發展的趨勢(Dung et al., 2020)。

泰國荔枝

近年來，泰國荔枝的種植面積逐漸減少。這是因爲在 21 世紀初，龍眼反季節促花技術發展，種植者放棄了荔枝，轉而種植龍眼(Sethpakdee, 2002)。因此，從 2003 年到 2012 年，荔枝總種植面積從 33,508 公頃減少到 21,834 公頃，總產量從 125,221 噸減少到 65,763 噸，平均單產從 5.4 噸/公頃下降到 2.3 噸/公頃(Thanarut et al., 2008; Phavaphutanon, 2015)。從 2012 年到 2021 年種植面積又下降了 26%來到 16,263 公頃，總產量從 36,233 噸，平均單位面積產量維持 2.3 噸/公頃(Jaroenkita and Manochai, 2026)。

泰國同時擁有熱帶與亞熱帶的荔枝品種 (Menzal et al., 2005)。主要產區位於以亞熱帶氣候爲主的北部區域。清邁(Chiang Mai)是主要的生產省分，每年生產超過 4 萬公噸，其次是清萊(Chiang Rai)及帕堯府(Payao)省。北部區域大約種植了 10 種品種，其中'Hong Huay' ('Dazao'、'Tai So')佔了約 73%的種植面積，而其他品種則包括'O-Hia' ('Baidum', 'Heiye', 'Haak Yip')、'Kim Jeng' ('Huaizhi'、'Wai Chee')以及'Chakrapapad' ('Chacapat') (Phavaphutanon, 2015)。'Hong Huay'的收穫期是在 5 月，'O-Hia'和'Kim Jeng'爲 5 月下旬而'Chakrapapad'則是 6 月下旬至 7 月(Thanarut et al., 2008)。近年來'Chakrapapad'的生產面積逐漸擴大。在清邁栽種比率約 56%，而'Hong Hoey'只有 42%(Jaroenkita and Manocha, 2026)。大約有 20 個品種，例如'Kom'、'Samphao Kaew'、'Kaloke Bai Yao'、'Luk Lai'與 'Krathon Thong Phrarong'在中部地區具有溫暖冬季的低海拔氣候條件下生長良好，特別是在 Samut Songkhram，這個小省分每年大約生產 2,000 噸的荔枝(Phavaphutanon,

2015)。'Kom'是主要的熱帶品種，佔種植量的 11%，在 4 月上旬收成，而其他熱帶品種則在 4 月收成(Thanarut et al., 2008)；但在 Chanthaburi 省，此類群的部分品種最早可以在 3 月中旬收成 (Sethpakdee, 2002)。

馬達加斯加荔枝

荔枝約於 1802 年引進馬達加斯加，如今已在整個東海岸廣泛種植，主要分佈在年降雨量爲 2500-4000 毫米的濕潤熱帶低地。部分地區屬於亞熱帶氣候，冬季涼爽乾燥(Huang et al., 2005; Janhiel et al., 2014)。馬達加斯加荔枝的生產受海洋性氣候，尤其是颱風的影響很大，產量波動較大。年產量爲 10 萬噸，其中 2 萬噸出口到歐洲國家(Janhiel et al., 2014; Mitra and Pan, 2020)。

這裡共有三個主要產區：最大的種植區位於 Tamatave 周邊，年產量約 4000 噸，且超過 90%用於出口；另外兩個主要產區則位於 Manakara 與 Fort-Dauphinn 地區。Fort-Dauphin 的採收季始於 10 月下旬，結束於 1 月下旬，而在 Diego-Surez 則集中在 11 月中旬至 12 月底之間(Janhiel et al., 2014)。馬達加斯加種植的商業荔枝品種爲'Mauritius' (或稱'Dazao') (Mitra and Pan, 2020)。

南非的荔枝

荔枝於 1875 年從模里西斯傳入南非。2012 年產量爲 7760 噸，商業生產總面積爲 1,731 公頃，其中 Limpopo 省 514 公頃、Mpumalanga 省包括史瓦帝尼)1,108 公頃、KwaZulu-Natal 省 109 公頃。2002 年至 2012 年的平均產量爲 5,789 噸，相當於每公頃 3.3 噸(Nortjé, 2012)。目前的優勢品種是'Mauritius'(89.8%)和'McLean's Red' ('Madras'，佔 6.4%)。其他種植品種包括' Wai Chee' (2.3%)、'Fay Zee Siu' (0.5%)和'Third Month Red' (0.4%)。然而在 2000 年，'Mauritius'佔產業的 75%，'McLean's Red'佔 25%，這顯示出'Mauritius'已變得不那麼受歡迎。南非的產期從 10 月中旬開始，到 2 月結束，盛產期是 12 月和 1 月，分別佔年產量的 53.9%和 30.5%。10 月產量佔 0.1%，11 月 7.7%，2 月 6.9%，3 月 0.8%(Begemann, 2014)。'Third Month Red'的果實在 10~11 月供應，'Wai Chee'在 2~3 月供應，而'Mauritius'在 11~1 月供應(Mitra and Pan, 2020)。

澳洲的荔枝

荔枝於 1850 年代開始在澳洲種植(實生苗)，1920 年代引進了'Tai So'和'Wai Chee'的高壓苗(Drinnan and Grundy, 2012)，直到 1970 年代末才擴大規模商業化生產(Huang et al., 2005b)。2010 年約有 350 個果園，面積約 2000 公頃，年產量超過 4000 噸，管理良好的果園產量可達每公頃 10 噸(X, M, Huang, Subhadrabandhu, et al., 2005)。產區分布在東海岸，從昆士蘭北部的凱恩斯(Cairns)和阿瑟頓高原(Atherton Tableland)延伸到新南威爾斯北部的科夫斯港(Coffs Harbour)。約 50% 的產業分布在北昆士蘭，40% 在中南昆士蘭，10% 在新南威爾斯北部(Drinnan and Grundy, 2012)。

澳洲的品種及其所佔種植面積百分比如下：'Kwai Mai Pink'(58%)、'Baitaying' (10%)、'Kaimana' (8%)、'Erdon Lee' (5%)、'Wai Chee' (5%)、'Chompogo'(5%)、'Salathiel'(3%)，其他品種佔種植面積的 6%，包括'Tai So'、'Souey Tung'、'Feizixiao'和'Sah Keng'。'Baitaying'、'Erdon Lee'和'Chompogo'主要出現在新種植區，而'Salathiel'、'Tai So'、'Souey Tung'、'Feizixiao'和'Sah Keng'的面積則沒有增加(Jill Houser, 2021，個人交流)。

果實採摘期從昆士蘭遠北地區的 10 月開始，到新南威爾斯州北部地區的隔年 4 月初結束(Mitra and Pan, 2020)，但主要採摘季節爲 12 月至隔年 2 月初(Drinnan and Grundy, 2012)。與 10 年前相比，由於引進了早熟和晚熟、品質優良或果實碩大的品種，澳洲荔枝品種的開發如今更加多樣化(Drinnan and Grundy, 2012)。荔枝主要作爲鮮果銷售，並透過空運運輸，約有 70-80%在國內銷售，尤其是在布里斯本、雪梨和墨爾本，其餘的則出口(Houser, 2018)。

世界貿易

由於荔枝耐貯藏性極差，加上國內需求龐大，其在全球貿易中僅佔一小部分。2017 年，全球荔枝總產量中僅有不到 5%進入出口市場(Kumar and Ray, 2020)。中國鮮荔枝出口量約 1~2 萬噸，價值 1,300 萬~6,363 萬美元，約佔其總產量的 0.4%~0.7%。主要出口市場爲香港、美國、印度尼西亞、新加坡、菲律賓及馬來西亞，其中香港佔 40%，美國約佔 20%。中國主要出口的荔枝品種是'妃子笑'，其餘有'白臘'、'黑葉'、'淮枝'、和'雙肩玉荷包' (齊等，2023；Chen and Huang, 2014)。中國出口約 1 萬至 2 萬噸罐裝荔枝，價值 710 萬至 1,800 萬美元(莊，2010)。在荔枝季初期，中國從越南和泰國進口鮮果。越南荔枝產量約有一半用於出口，其中超過 90%銷往中國；其他主要市場包括美國、日本和澳洲(Altendorf, 2018；Kumar and Ray, 2020)。泰國曾是全球荔枝貿易中最大的供應國，其荔枝總產量的 35%用於出口。2000 年，泰國鮮果出口量達 167,546 噸(Huang et al., 2005)。近年巨幅下降。2021 年鮮果出口量僅僅 832 公噸，主要市場爲中國馬來西亞及新加坡，市場占比分別是 51.3%、42.9%及 5.8%，罐裝荔枝出口量 1538 公噸，主要市場爲美國、越南及印尼，市場占比分別是 50.5%、28.9%及 20.6% (Jaroenkita and Manocha, 2026)。臺灣鮮果出口量在 1991 年達到 12,831 噸，之後逐漸下降。2014 年出口量爲 1,178 噸，出口額約 300 萬美元。主要出口市場爲美國(674 噸)，其次爲新加坡(230 噸)、日本(134 噸)及加拿大(90 噸)(張和張，2015)。近年來，2025 年出口量下降至 126 噸，出口額約 148 萬美元，主要出口到日本(134 噸)(農糧署，2026)。臺灣出口的主要荔枝品種爲'黑葉'和'玉荷包(張和張，2015)。在印度，荔枝的年產量幾乎全用於國內消費，其中近 60%在當地市場銷售。2006~2007 年間，印度出口了 1,661 噸鮮荔枝，價值 36 萬美元。此後，出口量逐漸下降。2018 年，出口量僅 147 噸，價值 20 萬美元(Kumar and Ray, 2020)。在澳大利亞，約 20-30%的荔枝出口到香港、新加坡、馬來西亞、英國、法國、比利時、阿聯酋、大溪地、紐西蘭、美國和加拿大(Houser, 2018)。

荔枝在歐洲廣受歡迎，消費量呈現逐步上升趨勢。1993 年，鮮荔枝的貿易總量爲 14,112 噸(Huang et al., 2005)。從 2000 年到 2010 年，平均貿易量已增至 27,330 噸(Jahiel et al., 2014)。馬達加斯加是最大的供應國，佔了歐洲市場約 80%的份額，其次是南非和泰國，分別佔約 15%和 8%，以色列和西班牙合計佔 11%。其他較小的供應國包括模里西斯、留尼旺、中國和印度(Jahiel et al., 2014)。法國是馬達加斯加荔枝出口的核心市場，佔歐洲市場總量的 75%以上。荷蘭和英國是歐洲另外兩個重要的荔枝市場，它們的荔枝主要由南非供應(Huang et al., 2005)。'Mauritius'是歐洲荔枝市場的主要品種(Chen and Huang, 2014)。

荔枝產業困境

1. 少數優勢品種造成的高度集中收穫期

據估計，全世界約有 600 種荔枝品種(Mitra and Pan，2020)。然而，每個國家商業化種植的品種卻很少，而且大多數是中晚熟品種，因爲這些品種的植株容易取得，或者果實品質更好。這導致荔枝的收穫期短，銷售季節集中，種植者的利潤也較低(李，2008；Chang et al., 2009；Dung et al., 2020)。近年來，這個問題變得更加嚴重。隨著全球暖化的到來，不同荔枝品種的成熟收穫期界線變得模糊不清，尤其是中晚熟品種之間(Xu, 2020)。因此，迫切需要培育早熟品種，特別是極早熟品種，這些品種不僅易於種植，而且果實品質優良。此類品種將爲種植者提供更多選擇，提高早熟品種在種植面積中的比例，並延長生產週期(李，2008；Huang and Chen, 2014；Dung et al., 2020)。透過基因表現分析和基因組資源研究，研究人員已鑑定出一些與荔枝開花相關的基因(Ding et al., 2015; Hu et al., 2018; Hu et al., 2022)以及一些與果實品質相關的基因(Fan et al., 2021; D. Wang et al., 2021)。這些結果爲荔枝的雜交育種和早期選育提供了寶貴的遺傳基礎，有助於培育出果實品質優良、極早熟的荔枝新品種。

2. 生產不穩定

荔枝栽培常見的難題包括開花不規則和產量不穩定(Menzel, 1983；O'Hare, 2002；Stern and Gazit, 2003；Zhao and Li, 2020)。造成這些問題的原因有很多，例如病蟲害、極端溫度事件、水分脅迫以及礦質營養管理不當(Stern and Gazit, 2003)。然而，近年來，由不利天氣條件導致的產量不穩定似乎更爲頻繁。 2016 年和 2017 年，惡劣天氣嚴重降低了廣東荔枝的開花率(Altendorf, 2018)。 2018/2019 年，臺灣的暖冬導致荔枝產量大幅下降(朱等，2019)。

3. 果實採後損失率

荔枝是中國極具經濟價值的特色水果，中國的荔枝栽培面積與產量均佔全球 60%以上。然而，荔枝採收期集中於高溫高濕季節，屬於非更年型果實，採收後極易發生果皮褐變、水分流失及微生物腐爛。目前採後損失率超過 20% (Liang et al., 2026)，在印度，荔枝保鮮期僅 1 至 2 天。從產地到零售市場的供應鏈總損失高達 35.3%至 43.8%(Kumar, and Ray, 2023)。

4. 勞力短缺導致生產成本持續上漲

勞力成本是當前全球荔枝產業(尤其是中國大陸與臺灣)面臨的嚴峻挑戰之一。荔枝屬於勞動力高度密集的作物，從修剪、施肥、病蟲害防治到採收與產後分級，目前仍高度依賴人工。在中國大陸荔枝生產成本之人工費用占比高達是 40.38%，而在採收及噴藥等關鍵技術環節中部分產區還會出現雇工難，甚至無工可雇的尷尬局面(齊等，2023)。在臺灣荔枝生產成本之人工費用占比更高，在'黑葉'約爲 52.4%，在'玉荷包'更高達 64%(農糧署，2025)。

荔枝產業荔枝產業發展對策-以中國大陸爲例

1. 品種選育與產期結構的優化

主要荔枝品種收穫期相對較短，導致市場供需失衡，限制了種植者和銷售商的收益，也限制了消費者的購買量。延長荔枝的生產期是大多數荔枝改良項目的首要任務(齊等，2019)。自 1950 年代以來，中國一直積極進行荔枝育種工作，近年來已培育出 80 多個新品種、品系和優良植株(孫等，2010；邱等，2010；葉等，2011；歐，2012；馬等，2016)。這些新品種的生產期各不相同，通常產量高且穩定，果肉率高，果肉爽脆。對於晚熟品種的培育，果實裂果程度低或完全抗裂果至關重要；而對於大果品種，果皮顏色比現有品種更鮮豔的紅色則更爲重要(表 2)。

爲避免單一時期市場供需失衡，政策上依據各省份的地理氣候條件，規劃了極端拉長的熟期梯度，例如以海南省與雲南省(乾熱河谷)爲主，利用冬季高溫與春季升溫快的特點，主打需冷量極低的'妃子笑'('Feizixiao')，搶佔 4 月至 5 月的首發市場。在四川省瀘州合江縣，利用其高緯度(北緯 28°)的微氣候，發展'帶綠'('Dailü')等品種，將產期延展至 8 月乃至 9 月，獲取極高的「晚熟溢價」。

另外依據氣候韌性與經濟導向進行品種替換亦是重要策略，例如針對傳統優質品種(如'桂味'及'糯米糍')需冷量高、易受暖冬打擊而產生嚴重「大小年」的問題，策略上重點推廣低需冷量且成花穩定並且具相近口感的品種(如'井崗紅糯')。同時，針對單價低迷的大宗品種(如'黑葉'、'白蠟')，政策性補貼農戶將其替換爲極耐冷鏈貯運、不裂果且市場價格通常爲黑葉的 5-10 倍的高溢價品種(如'仙進奉')。

利用區域化佈局及配合'仙進奉'等耐貯運品種的推廣，使得中國鮮果荔枝的市場供應期從傳統的 2 個月(5 月中旬至 7 月中旬)成功延長至近 5 個月(4 月下旬至 9 月初)。果皮角質層較厚的新品種大幅降低了冷鏈物流中的褐變與損耗率(從以往的 15%降至 5%左右)，有力支撐了高附加價值的國際出口貿易。自 2009 年至 2021 年，中國荔枝高接換種累積面積已達 6.13 萬公頃(邱等，2010；葉等，2011；陳等，2022，2024；齊等，2023)

2. 基因體學研究與精準育種

(1) 基因組組裝與演化背景：

遺傳分析顯示，極早熟品種起源於雲南野生群體，而晚熟品種則獨立馴化自海南野生群體。早熟品種多爲兩者的雜交後代(Hu et al., 2022)。

(2) 成花誘導與調節的核心機制：

荔枝的開花受低溫誘導，研究鑑定出多個關鍵基因及其調控路徑，其中 *LcFT1* 啓動子差異決定品種「簡易」或「困難」開花的關鍵原因。另有調節網路整合者包括 *LcSOC1*、*LcLFY*、*LcAP1-1* 與 *LcAP1-2* 與 *LcCBF-LcMFT* 模組，還有冷量需求(Chilling Requirement)：相關的候選基因(如 *CO1*、*VRN1*、*SPL* 等)(Ding et al, 2015; 2018; 2021)。

(3) 花性別決定的分子基礎：

LcQRT2、*LcSWT12*、*LcROXY2* 和 *LcATXR6* 可能是造成雄花和雌花花藥發育差異的關鍵蛋白，*LcWOX1*、*LcEPFL1*、*LcAGL11* 和 *LcTT16* 可能參與雌蕊和胚珠的形成(Chen et. al, 2024)。

(4) 果實發育、著色與成熟時間：

著色機制之 關鍵調控基因包括 *LcMYB1*(活化合成途徑)和 *LcSGR1*(介導葉綠素降解)。晚熟突變體因這些基因表達延遲而推遲著色((Ding et al, 2021)。另發現一對 *CONSTANS-like(COL)*基因下游的 3.7 kb 缺失片段與果實成熟期顯著相關，此缺失可作爲區分早熟與晚熟品種的分子標記(Hu et al, 2022)

荔枝的分子標記在育種上的應用主要在開花難易程度與果實成熟期兩大核心性狀。由於荔枝幼年期長且樹體巨大，佔用大量土地與人力。荔枝的分子標記開發主要集中在開花難易程度與果實成熟期兩大核心性狀，這些技術顯著提升了育種效率並縮短了育種週期。分子標記輔助選種(MAS)讓育種者能在幼苗階段就選定具備目標性狀(如高品質且易開花)的個體，節省 50% 以上的資源。利用高接換種，將分子標記鑑定出的優質雜交後代接穗，嫁接到成年荔枝樹的大枝上，可將幼年期從 5 年以上縮短至 2 年左右。中國大陸利用上述技術已成功培育出具備簡易開花特性且高品質的新品系'紅珊瑚'(ZS-35)(Ding et al, 2021)。

隨著荔枝遺傳轉化體系的建立，未來可利用 CRISPR/Cas9 基因編輯技術，針對標記所指向的關鍵基因(如 *LcFT1* 啓動子、*LcSOC1* 或 *LcAP1-2*)進行精準編輯，以延後或提早花期，實現分子設計育種(Ding et al, 2021)。

3. 積極發展荔枝採收、採後處理與保鮮技術

荔枝採收後由於呼吸作用旺盛且極易失水，常溫下往往「一日色變，二日香變，三日味變」。近年中國大陸致力於綜合保鮮技術研發，重點涵蓋 AI 智慧檢測、超低溫凍眠、與集成化冷鏈。

(1) 深度學習與智慧化精準分揀

爲滿足高規格出口標準，計算機視覺技術成爲分揀端關鍵。針對微小蒂蛀蟲孔，Wu 等人(2025)開發基於 YOLOv11 的模型，引入並結合空間-通道注意力機制(CBAM)，有效消除了荔枝果皮粗糙紋理對蟲孔識別的干擾，即時精準度達 92.2%。另針對炭疽病分級，最新 LycheeGuard-Lite 模型(基於 YOLOv12)透過輕量化設計，成功部署於邊緣運算設備，兼具 99.4%高精度與即時運算能力(Xu et al., 2025)，這些技術讓產線上的非破壞性精準品控得以實現。

(2) 超低溫凍眠與超微結構穩定性

液氮浸漬速凍(LNIF)是利用液氮將環境迅速降溫至-80℃至-120℃。在極高冷卻速率下，荔枝細胞內的水分會形成微小且均勻的冰晶避免了傳統冷凍因大冰晶刺破細胞壁導致的「解凍後流水、肉質軟爛」問題(吳等，2022)。近期研究確立了最佳解凍溫度以維持色差值(Wu et al., 2026)。保鮮期可從幾天延長至 12-18 個月，解凍後的果實色澤、口感還原度高達 85%—90%。

(3) 集成化冷鏈工程與微環境控制

爲替代傳統二氧化硫(SO_2)燻蒸，中國致力尋找其他的保鮮方式，包括利用微酸性電解水浸泡處理能顯著抑制果皮褐變與減輕重量損失，進而維持較高的商品價值與果實品質(Zhang, et al.,2024)，亦有學者提出「集成化物理控制策略」，構建「多重物理障礙」以

同步抑制生理劣變與微生物侵害。方法是先利用壓差預冷(Forced-air Pre-cooling)，鈍化多酚氧化酶(PPO)與過氧化物酶(POD)的初始活性，隨後施以生物活性塗層(如殼聚糖複合膜)，在果皮表面形成半透性物理屏障，減少水分蒸騰並隔離病原菌。進入包裝環節後，利用氣調包裝技術(MAP)，透過微孔膜的滲透特性建立動態的「低氧、高二氧化碳」微環境，深度抑制呼吸強度並延緩細胞壁降解。最後，整個過程依賴全鏈條物聯網(IoT)溫控系統進行管理，利用感測器即時監測並預警運輸中的溫度波動，有效避免冷凝水(水橋)產生及氧化應激反應。這種集成策略將單一技術的點狀防禦轉化爲系統鏈條，不僅將保鮮期延長至 20 天以上，更實現了無化學殘留的綠色貿易目標(Liang et al., 2026)。此外透過精準的「5°C 預冷＋優化的冰袋配置比例」，能有效穩定電商物流包裝內的微環境。此優化模型能大幅延緩荔枝的果皮褐變，並將高品質的保鮮狀態穩定維持在 48 至 72 小時之間(Guo et al., 2025)

4. 深度學習的自動化採收

荔枝的採收面臨勞動力密集、但人力缺乏的挑戰。在自然光照與複雜遮擋的果園環境中，果實與採摘點的精準識別是農業機器人商業化的前提。中國大陸最新研究提出了一種整合 YOLO11s 目標檢測網絡與 DeepLab v3+ 語義分割的混合感知框架。透過規則幾何演算法，該系統能夠有效克服光線變化與枝葉遮擋的問題。該模型在實地測試中達到了 84.3%的精準定位率，成功爲 3D 採收機器人的自動化路徑規劃與實地部署提供了可靠的視覺基礎(Zhang et al, 2026) 。

結語

全球荔枝產業正從單純的產量擴張，轉向基於「品質、技術與熟期佈局」的綜合競爭。透過基因體學精準育種克服氣候不穩定性，結合 AI 與集成化冷鏈破解生理褐變與勞動力荒，將是荔枝產業實現高價值全球化貿易、突破「一日色變」生物藩籬的途徑。

表 1. 不同國家或地區的荔枝產量及主要荔枝品種

國家	生產面積(公頃)	生產體積(噸)	栽培品種	生產年份	參考
中國	526,100	222,7000	黑葉 妃子笑 淮枝 桂味 白糖罂 白蠟	2022	齊，2023
印度	99,000	728,000	Shahi China Bombai Dehradun Bedana	2021	Kumar and Ray, 2020; Mitra and Dutta, 2005
越南	58,340	340,600	Thieu Thanh Ha	2018	Dung et al., 2020
馬達加斯加	25,000	100,000	Mauritius	2005	Jahiel et al., 2014; Yen, 2008
泰國	16,263	36,233	Hong Huay O-Hia Kim Jeng Chakrapapad Khom	2021	Jaroenkita and Manochai, 2026
臺灣	9,534	45,137	黑葉 玉荷苞	2024	農業統計年報，2024
孟加拉	4,800	13,000	Muzaffarpur China-3 Bombai Bedana	2002	Abu Baker Siddiqui, 2002
尼泊爾	2,380	13,875	Terai cultivars: Muzaffarpur Raja Saheb Deharaduni. Hill cultivars: local type	1999	Budathoki，2002
澳洲	2020 年	4,000	Kwai Mai Pink	2010	Drinnan and Grundy, 2012
南非	1,731	7,760	Mauritius	2012	Nortjé, 2012
巴西	1,500	2,500	Bengal	2005	Yamanishi et al., 2010
以色列	300	2,000	Mauritius	2001	Goren et al., 2001
美國(佛羅里達)	240	1,000	Mauritius	2001	Knight, 2001

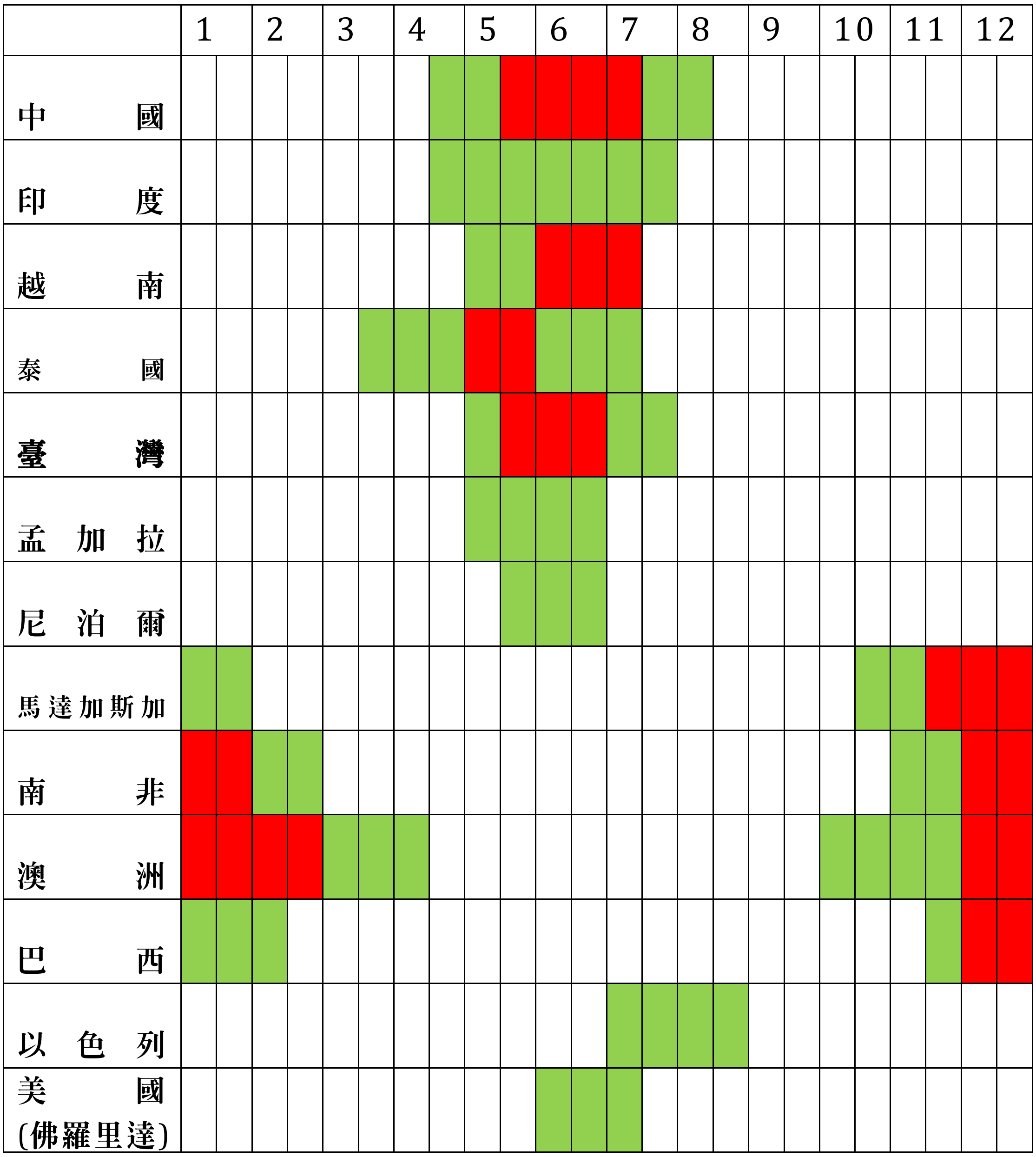

圖 1. 不同國家荔枝的收穫季節(主要收穫季節以紅色標示)。

表 2.中國荔枝新品種

栽培品種	育種方法	收成	特徵	來源
'無核荔'	實生苗選拔	海南六月初，廣東七月初	無籽率 75%，敗育籽率 20% ，果實重量 21 公克。	吳，1998；李，2008
'陽春紅荔枝'	芽突變	四月下旬至五月初，廣東	比'三月紅'早 15 天，敗育種子率 40-50%，果實重量 25 克。	汪 等 ，2004
'荷花大紅荔'	實生苗選拔	6 月下旬廣東	果實巨大，平均單果重 52.9 克，最大單果重達 90 克，果皮鮮紅色。	歐 等 ，2005
'仙進奉'	實生苗選拔	7 月初至 7 月中旬，廣東	抗裂性好，產量高且穩定，敗種子率高達 90%，單果重 26.0 克，耐貯藏。	邱 等 ，2010
'井岡紅糯'	實生苗選拔	7 月中下旬廣東	'糯米糍'的風味和'桂味'的口感，抗裂果，敗育種子率約 80%，果實重量 23.5 克，抗霜霉病。	葉 等 ，2011

參考文獻

朱彧瑩、柯昱成、張哲瑋。2019。氣候異常對荔枝開花結果之影響。農業世界 431:14-19。

李建國。2008。荔枝學。中國農業出版社。北京。

吳淑嫻。1998。中國果樹志：荔枝卷。中國林業出版社。北京。

吳煒俊、程麗娜、徐玉娟、余元善、鄒波、李俊、肖更生。2022。液氮噴霧速凍及梯度解凍在荔枝品質保鮮上的優勢。現代食品科技 38(3):105-114。

汪谷釗、畢國均、余先鳳、張廷彬、陳德嚴。2004。三月紅荔枝新株系——陽春紅荔枝的選育研究。中國南方果樹 33(4):30-31。

胡福初、陳哲、吳鳳芝、范鴻雁、馮學杰、王祥和。2020。海南荔枝產業發展現狀與對策建議。中國熱帶農業 95:29-33

徐炯志、岑文展。2020。廣西荔枝高接換種品種推薦及方法選擇。農業研究與應用 33(3):53-55。

陳厚彬、蘇鑽賢、楊勝男。2022。2022 年全國荔枝生產形勢分析。中國熱帶農業 2022(3):8-20。

陳厚彬、楊勝男、蘇鑽賢、歐善國、潘蔚娟、彭曉丹。2024。2024 年全國荔枝生產形勢分析與管理建議。中國熱帶農業 2024(3):8-20。

張哲瑋、張仁育。2015。世界荔枝貿易與我國荔枝鮮果外銷方向。農業生技產業季刊 (1):46-51。

莊麗娟。2010。中國荔枝出口貿易現狀與發展對策。中國熱帶農業 2010(1):47-50。

齊文娥、陳厚彬、羅滔、宋鳳仙。2019。中國大陸荔枝產業發展現狀、趨勢與對策。廣東農業科學 46(10):132-139

齊文娥、陳厚彬、李潔欣。2023。2022 年中國荔枝產業發展現狀、趨勢與對策。廣東農業科學 50(2):147-155

馬錁、谷超、劉遠昌、胡銳清、羅詩、劉紀堂、王澤槐、李建國。2016。荔枝新品種'唐夏紅'。園藝學報 43(8):1621-1622。

孫清明、歐良喜、向旭、陳潔珍、邱艷萍、李志強、蔡長河。2010。荔枝品種選育進展。果樹學報 27(5):790-796

邱燕萍、李志強、袁沛元、歐良喜、向旭、陳潔珍、孫清明、蔡長河。2010。荔枝新品種仙進奉的

性狀觀察。廣東農業科學 (8):65。
歐良喜。2012。荔枝新品種——鳳山紅燈籠。中國果業信息 (7):65。
歐陽若、王澤槐、胡桂兵、劉成明、梁元崗、古今清、李少紅、周蘗、黃鳳信、劉偉文。2005。高商品性荔枝新品種'荷花大紅荔'的選育。果樹學報 22(1):91-92。
歐陽曦、齊文娥。2018。福建省荔枝產業發展狀況－基於 2011－2016 年的數據分析。中國熱帶農業 (1):19-23。
農糧署。2026。農業統計資料查詢。農糧署。https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/maintenance/Announce.aspx(2026-04-17)。
Abu Baker Siddiqui, S. B. M. Lychee production in Bangladesh. In Lychee Production in the Asia-Pacific Region, 1st ed.; Minas, G. J., Eds.; Food and Agricultural Organization of the United Nations: Bangkok, Thailand, 2002; pp. 28-40.
Altendorf, S. Minor tropical fruits: Mainstreaming a niche market. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Tropical_Fruits/Documents/Minor_Tropical_Fruits_FoodOutlook_1_2018.pdf
Begemann, G.J. The South African litchi industry - an overview. Acta Hortic. 2014, 1029, 35-38.
Budathoki, K. Lychee production in Nepal. In Lychee Production in the Asia-Pacific Region, 1st ed.; Minas, G. J., Eds.; Food and Agricultural Organization of the United Nations: Bangkok, Thailand, 2002; pp. 81-93.
Chang, J.C.; Lin, T.S.; Yen, C.R.; Chang, J.W.; Lee, W.L. Litchi production and improvement in Taiwan. J. Agric. Assoc. Taiwan 2009, 10(1), 63-76.
Chang, J.; Kim, S. Research on Detection and Picking Point of Lychee Fruits in Natural Scenes Based on Deep Learning. Agriculture 2026, 16(6), 686
Chen, H.B.; Huang, X.M. Overview of litchi production in the world with specific reference to China. Acta Hortic. 2014, 1029, 25-33.
Chen, Z.; Yan, T.; Abbas, F.; Yang, M.; Wang, X.; Deng, H.; Zhang, H.; Hu, F. Targeted metabolites and transcriptome analysis uncover the putative role of auxin in floral sex determination in *Litchi chinensis* Sonn. Plants 2024, 13, 2592.
Ding, F.; Zhang, S.; Chen, H.; Su, Z.; Zhang, R.; Xiao, Q.; Li, H. Promoter difference of LcFT1 is a leading cause of natural variation of flowering timing in different litchi cultivars (*Litchi chinensis* Sonn.). Plant Sci. 2015, 241, 128-137.
Ding, F.; Zhang, S.; Chen, H.; Peng, H.; Lu, J.; He, X.; Pan, J. Functional analysis of a homologue of the floricaula/leafy gene in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) revealing its significance in early flowering process. Genes Genomics 2018, 41, 321-332.
Ding, F.; Li, H.; Wang, J.; Peng, H.; Chen, H.; Hu, F.; Zhang, S. Development of molecular markers based on the promoter difference of LcFT1 to discriminate easy- and difficult-flowering litchi germplasm resources and its application in crossbreeding. BMC Plant Biol. 2021, 21, 539.
Drinnan, J.E.; Grundy, T. The Lychee Production Guide; Department of Agriculture, Fisheries and Forestry and Horticulture Australia: QLD, 2012.
Dung, N.V.; Nghi, D.Q.; Hung, N.Q.; Huy, N.Q. Current production and development trends of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) in Vietnam in the coming future. Acta Hortic. 2020, 1293, 7-14.
Fan, S.; Wang, D.; Xie, H.; Wang, H.; Qin, Y.; Hu, G.; Zhao, J. Sugar transport, metabolism and signaling in fruit development of *Litchi chinensis* Sonn.: A review. Int. J. Mol. Sci. 2021, 22(20), 11231.
FAO. Major Tropical Fruits Market Review 2024; Rome, Italy, 2025.
Ghosh, B.; Mitra, S.K.; Sanyal, D. Litchi cultivars of west Bengal, India. Acta Hortic. 2001, 558, 107-113.
Goren, M.; Tomer, E.; Gazit, S. Litchi cultivars in Israel. Acta Hortic. 2001, 558, 129-133.
Groff, G.W. The Litchi and Lungan; Orange Judd: New York, 1921.
Guo, J.; Liu, D.; Lin, G.; Qiu, H.; Guo, P.; Ding, Z.; Wu, D.; Wang, J.; Lv, E. Effects of Different Litchi E-Commerce Logistics Packaging Methods on Microenvironment and Fruit Quality Variations. Foods 2025, 14, 1305.
Hai, V.M.; Dung, N.V. Lychee production in Vietnam. In Lychee production in the Asia-Pacific region; Papademetriou, M.K., Dent, F.J., Eds.; FAO Regional Office for Asia and the Pacific: Bangkok, 2002; pp. 114-119.
Houser, J. Lychee knowledge transfer at the 2018 China litchi conference, Project LY17001; Hort Innovation: Sydney, 2018.
Hu, G.; Feng, J.; Xiang, X.; Wang, J.; Salojärvi, J.; Liu, C.; Wu, Z.; Zhang, J.; Liang, X.; Jiang, Z.; Li, J. Two divergent haplotypes from a highly heterozygous lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) genome suggest independent domestication events for early and late-maturing cultivars. Nat. Genet. 2022, 54, 73–83.

Hu, J., Kim, H.-J., Chen, H., and Zhou, B. (2018). Litchi flowering is regulated by expression of short vegetative phase genes. Journal of the American Society for Horticultural Science, 143(2), 101-109. https://doi.org/10.21273/jashs04316-17

Huang, X.M.; Subhadrabandhu, S.; Mitra, S.K.; Ben-Arie, R.; Stern, R.A. Origin, history, production and processing. In Litchi and Longan: Botany, Production and Uses; Menzel, C.M., Waite, G.K., Eds.; CABI Publishing: Wallingford, 2005; pp. 1-23.

Jahiel, M.; Andreas, C.; Penot, E. Experience from fifteen years of Malagasy lychee export campaigns. Fruits 2014, 69(1), 1-18.

Jaroenkita, T.; Manochai, P. Longan and lychee in Thailand: production, industry, research and development. Acta Hortic. 2026, 1447, 13-122.

Kashyap, A.S.; Thakur, N. Problems and prospects of lychee cultivation in India. In Lychee Disease Management, 1st ed.; Kumar, M., Kumar, V., Bhalla-Sarin, N., Varma, A., Eds.; Springer: Singapore, 2017; pp. 139-166.

Knight, J.R.J. The lychee's history and current status in Florida. Acta Hortic. 2001, 558, 41-44.

Kumar, M.; Ray, P.K. Litchi production and marketing in India: Recent trends and important issues. Acta Hortic. 2020, 1293, 47-54.

Kumar, M.; Ray, P.K. Developments in marketing litchi in India: an assessment. Acta Hortic. 2026, 1447, 1-10.

Liang, M.; He, Z.; Xiao, S.; Meng, X. Unraveling the mechanisms and technologies to combat postharvest deterioration in litchi: A comprehensive review. J. Agric. Food Res. 2026, 21, 102860.

Menzel, C.M. The control of floral initiation in lychee: A review. Sci. Hortic. 1983, 21(3), 201-215.

Menzel, C.M.; Simpson, D.R. Performance and improvement of litchi cultivars: A review. Fruit Var. J. 1990, 44(4), 197-215.

Menzel, C.M.; Simpson, D.R. A description of litchi cultivars. Fruit Var. J. 1991, 45(1), 45-56.

Menzel, C.M.; Huang, X.; Liu, C. Cultivars and plant improvement. In Litchi and Longan: Botany, Production and Uses; Menzel, C.M., Waite, G.K., Eds.; CABI Publishing: Wallingford, 2005; pp. 59-86.

Milne, D.L. Lychee production and research in Southern Africa. In Proceedings of the Fifth National Lychee Conference; Menzel, C.M., Waite, G., Bronson, R., Eds.; Australian Lychee Growers' Association: QLD, 1999; pp. 25-31.

Mitra, S.K.; Pan, J. Litchi and longan production and trade in the world. Acta Hortic. 2020, 1293, 1-6.

Nortjé, G. (2012). Subtrop census report 2012.

Nakasone, H.Y.; Paull, R.E. Tropical Fruits; CAB International: Wallingford, 1998.

O'Hare, T. J. Interaction of temperature and vegetative flush maturity influences shoot structure and development of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). Sci. Hortic. 2002, 95, 203-211.

Phavaphutanon, L. Fruit production, marketing and research and development system in Thailand. Food and Fertilizer Technology Center, Taipei, 2015.

Sethpakdee, R. Lychee production in Thailand. In Lychee production in the Asia-Pacific region; Papademetriou, M.K., Dent, F.J., Eds.; Food and Agricultural Organization of the United Nations: Bangkok, 2002; pp. 106-113.

Singh, H.P.; Babita, S. Lychee production in India. In Lychee production in the Asia-Pacific region; Papademetriou, M.K., Dent, F.J., Eds.; Food and Agricultural Organization of the United Nations: Bangkok, 2002; pp. 55-77.

Sotto, R.C. Lychee production in the Philippines. In Lychee production in the Asia-Pacific region; Papademetriou, M.K., Dent, F.J., Eds.; Food and Agricultural Organization of the United Nations: Bangkok, 2002.

Stern, R. A.; Gazit, S. The reproductive biology of the lychee. In Horticultural Reviews, 1st ed.; Janick, J., Eds.; John Wiley and Sons, Inc.: Hoboken, NJ, 2003; Vol. 28, pp. 393-453.

Subhadrabandhu, S.; Stern, R.A. Taxonomy, botany and plant development. In Litchi and Longan: Botany, Production, and Uses; Menzel, C.M., Waite, G.K., Eds.; CABI Publishing: Wallingford, 2005; pp. 25-34.

Thanarut, C.; Suthon, W.; Yan, Y.S. Lychee production in Thailand. In Proceedings of a Symposium on Lychee Industry and Development in Taiwan; Ke, L.S., Yen, C.R., Eds.; National Pingtung University of Science and Technology: Pingtung, 2008; pp. 24-34.

Wang, D.; Zhao, J.; Qin, Y.; Qin, Y.; Hu, G. Molecular cloning, characterization and expression profile of the sucrose synthase gene family in *Litchi chinensis*. Hortic. Plant J. 2021, 7(6), 520-528.

Wu, S.X. Encyclopedia of China Fruits: Litchi; China Forestry Press: Beijing, 1998.

Wu, W.; Zheng, Z.; Cheng, X.; et al. Optimizing quick-frozen litchi thawing: a multi-objective approach integrating thermodynamic modeling and quality preservation. Food Measure 2026, DOI: 10.1007/s11694-026-04137-9.

Xu, X. Current production and biotechnological applications in the breeding of litchi in China. Acta Hortic. 2020, 1293, 21-32.
Xu, B.; Ma, Z.; Su, X.; He, X.; Wu, X. A lightweight intelligent grading method for lychee anthracnose based on improved YOLOv12. Front. Plant Sci. 2025, 16, 1688675.
Yamanishi, O. K.; Machado Filho, J. A.; Kavati, R. Overview of litchi production in São Paulo state, Brazil. Acta Hortic. 2001, 558, 59-62.
Zeng, Z.; Wang, J.; Lu, H.; Deng, Z.; Liu, D.; Guo, P.; Guo, J. Effect of Different Pre-Cooling Methods on the Quality of Litchi During Cold Storage. Agronomy 2026, 16, 428.
Zhao, M.; Li, J. Molecular events involved in fruitlet abscission in litchi. Plants 2020, 9, 151.
Zhang, J.; Chen, X.; Liu, Q.; Li, M.; Feng, S.; Lin, M.; Chen, Y.; Lin, H. Slightly acidic electrolyzed water treatment enhances the quality attributes and the storability of postharvest litchis through regulating the metabolism of reactive oxygen species. Food Chem. X 2024, 23, 101644.

The Global Lychee Industry: Its Current State, Challenges, and Countermeasures

Jer-Way Chang[1,*] Yu-Cheng Ko[2] and Yu-Ying Chu[2,*]

1 Researcher and Branch Director, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), , Ministry of Agriculture; jerway@tari.gov.tw;
2 Assistant Researcher, Department of Horticulture, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), , Ministry of Agriculture; axyz0852406@tari.gov.tw; yuyingchu@tari.gov.tw
* Correspondence: jerway@tari.gov.tw; yuyingchu@tari.gov.tw

Abstract

Lychee (*Litchi chinensis*) originated in southern China and Southeast Asia and has now spread to about 20 countries worldwide. Global annual lychee production is estimated at 4 million tons, with over 95% produced in the Northern Hemisphere. China, India, and Vietnam are the top three producers. However, due to the fruit's extreme perishability and huge domestic demand in each producing region, global lychee exports account for less than 5% of total production. Currently, the global lychee industry faces four core challenges: First, the over-reliance on a single commercially cultivated variety leads to a highly concentrated harvest period, resulting in production and sales pressure; second, global warming causes warmer winters, leading to unstable yields; third, lychees are highly susceptible to browning and rotting after harvest, with post-harvest losses often exceeding 20%; and finally, labor shortages and continuously rising production costs. To address these issues, optimization of variety structures by promoting cultivars with low chilling requirements and superior shippability to extend the supply window and secure market premiums. In genomic research, key genes for flowering and ripening are identified, and molecular marker technology is used to significantly shorten the breeding cycle. In addition, the industry is actively developing cryogenic freezing (LNIF), AI-powered intelligent inspection and sorting, and deep learning-based automated harvesting robots, aiming to reduce losses, alleviate labor dependence, and enhance industrial competitiveness through technological innovation.

Keywords: Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.), Variety Optimization, Climate Resilience, Precision Breeding, Postharvest Handling

龍眼產業發展概況

朱彧瑩 [1,*]、柯昱成 [1]、張哲瑋 [2,*]

[1] 農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所園藝系 助理研究員
[2] 農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所 研究員兼分所長
*聯繫人 e-mail: yuyingchu@tari.gov.tw; jerway@tari.gov.tw

龍眼（*Dimocarpus longan* Lour.）爲臺灣重要果樹與蜜源作物，近年產業同時面臨產期集中、鮮果不耐貯藏、颱風豪雨風險、隔年結果，以及暖冬造成花芽分化不足與開花不穩等挑戰。臺灣龍眼栽培由早期粗放管理逐步轉型，1960 年代以地方品種調查與高接更新奠定產業基礎，並以'粉殼'等品系成爲主流；近代則推動矮化栽培、果品評鑑與加工品牌化，龍眼乾兼具內需與外銷市場。然而，加入 WTO 後進口龍眼乾增加，亦加深國內加工端之競爭壓力。本文彙整世界龍眼產業現況，指出中國爲最大生產與進口國，泰國與越南爲主要出口國；越南及泰國已廣泛運用氯酸鉀等催花技術以進行產期調節與周年生產。綜合國內外經驗，未來臺灣可評估在南部較溫暖產區導入產期調節之配套管理，並強化病蟲害（如荔枝椿象）之區域防治、加工差異化與品牌策略，以提升產業韌性與競爭力。

關鍵字：產期調節、龍眼乾、氣候變遷

引言

龍眼(*Dimocarpus longan* Lour.)屬於無患子科(Sapindaceae)龍眼屬的亞熱帶常綠果樹，其栽培歷史悠久，發源於亞熱帶地區，文獻記載可追溯至 2,200 年前的中國，目前世界上有超過 20 個亞熱帶及熱帶地區有種植龍眼。龍眼自三百多年前由中國閩粵移民引入臺灣，風土適應性廣，栽培歷史悠久。早期龍眼於山野林地自然生長，放任管理，故果實價值不高，且因其根系發達，具有良好的水土保持作用，其木材材質堅韌且美觀，被視爲生產木材爲主、果實爲副的造林樹種(趙和張，1997)。至今，龍眼也逐步轉型爲具備高經濟價值的果樹產業，爲栽培面積第 5 大之果樹作物，果園主要分布於中南部中低海拔山區，其栽培面積曾於 2001 年達高峰(12,258 公頃)，產值最高達 37 億元新臺幣(2017 年)(2026，農糧署)。龍眼同時也是臺灣最重要的蜜源植物，花期所產出的龍眼蜜深受市場喜愛，與養蜂產業形成緊密生態鏈。

臺灣龍眼產業現況

目前臺灣龍眼種植面積爲 10,312 公頃，年產量約 49,346 公噸，產値約 32 億元新台幣，產區主要分布於臺南市（3,655 公頃，占比 35.5%，東山、楠西、南化、六甲）、臺中市（2,126 公頃，占比 20.6%，霧峰、太平）、南投縣(1,315 公頃，占比 12.8%，中寮、南投市)、高雄市（1,275 公頃，占比 12.4%，內門、田寮）、嘉義縣(1,078 公頃，占比 10.5%，竹崎、番路)及彰化縣(641 公頃，占比 6.2%，社頭、芬園)(農糧署，2024)。

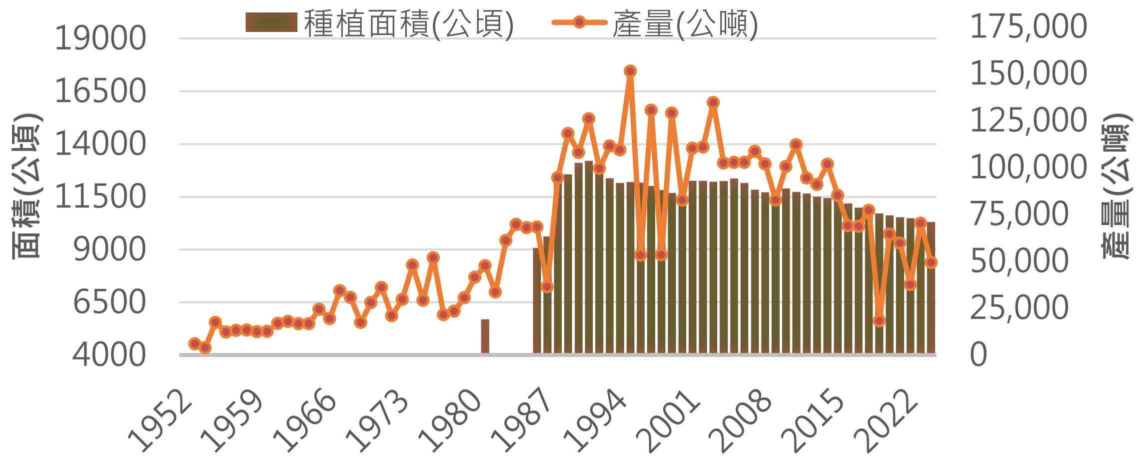

圖 1. 臺灣龍眼栽培面積及產量之變化

龍眼在古代與荔枝同樣被視爲高經濟價值的皇室貢品，常在慶典中被作爲禮物餽贈，明朝李時珍的《本草綱目》也有詳載其藥用價値：「食品以荔枝爲貴，而資益則龍眼爲良，蓋荔枝性熱，而龍眼性和平也」、「龍眼味甘，開胃健脾，補虛益智」。《神農本草經》紀載龍眼「主安志，厭食，久服強魂魄，聰明」，龍眼果肉質地鮮嫩透明，被認爲具有健脾益胃、滋養心臟、安神定志等功效。新鮮龍眼可加工製成龍眼乾(又稱桂圓)、罐頭或龍眼醬，以延長保存期限與多元應用，紓解國內龍眼鮮果市場銷售壓力(周和張，2019)。龍眼乾的製作，據稱早在十八世紀初即已開始，至 1990 年左右由福建、泉州及潮州一帶遷臺人士再傳入所謂「赤殼龍眼乾」製作法，選用果形大、品質佳的果品爲原料，製成品

果殼呈茶褐色，直接以乾果銷售(趙和張，1997)。漸漸地，演變成具有臺灣在地特色的柴燒龍眼、土窯龍眼等，例如：臺南東山區以傳承百年的「焙灶」古法烘焙聞名，柴燒龍眼以龍眼木煙燻製成，具有特殊風味，深受消費者喜愛(臺南市東山區公所，2014)。目前龍眼乾已是華人市場食品產業的重要原材料之一，融入至糕點、粥品、茶飲等，例如常見的桂圓蛋糕伴手禮、吳寶春酒釀桂圓麵包均帶動了臺灣龍眼乾作爲烘焙食材的市場，而臺灣人常吃的八寶粥，龍眼乾也是其中的重要成分。

龍眼產業主要面臨的問題爲產期集中、鮮果不耐貯藏、產期逢颱風與豪雨以及隔年結果，但近年來，龍眼也面臨果樹作物共同的難題，包含氣候變遷、農業人口高齡化以及缺工問題(王等，2010；吳和陳，2020)。

1. 產期集中：

龍眼產期集中於 7-8 月，且果實採收適期短，掛在樹上的果實如未及時採收，容易「退甘」，果實甜度降低，果肉組織纖維化，且蒂頭連接種子間組織增生纖維，形成人稱「大蒂頭」之現象。由於盛產期價格低廉，鮮果販售價格相對較低，故傳統上許多果園爲加工導向，行粗放栽培，低投入，所採收的果實均烘焙成龍眼乾。

2. 鮮果不耐貯藏：

新鮮的龍眼果實不耐貯藏，由於含糖量高且果皮構造薄，極易發生果皮褐變與微生物腐爛，在常溫下通常只能保存 3-5 天(周和張，2019)。

3. 颱風與豪雨：

龍眼之產期適逢汛期，在接近果實成熟期時，有受到颱風危害的可能，或容易受到豪雨影響導致裂果發生(柯等，2023)。

4. 隔年結果：

龍眼的隔年結果是一項存在已久，且經常發生的問題。早在 1932 年日據時期即有紀載，顏(1988)指出應爲生長衰弱或營養生長過於旺盛兩種主因所導致。隔年結果可透過適當的栽培管理手段減緩，長期粗放栽培的果園隔年結果現象會較明顯，農民可透過適當的疏花及疏果，避免養分過度消耗，適量的補充肥料減緩，且應避免過度施用氮肥。

5. 氣候變遷：

導致暖冬頻率增加，對於需要冬季低溫進行花芽分化的龍眼而言造成了極大的威脅，近年也可時常聽聞龍眼開花不穩的報導，尤其在 2019 年的暖冬造成全臺龍眼開花率低，減產 9 成，當時引起了社會極大的關注(上下游，2019)。

6. 人口高齡化以及缺工：

龍眼的生產成本中，採收工作需耗費大量人工，人力成本占比超過 6 成(農糧署，2026)。

7. 入侵害蟲：

「荔枝椿象」爲近年來臺灣嚴重入侵害蟲之一，臺灣本島在 2009 年於高雄市首次發現(張和陳，2018)，由於其飛行能力強，寄主涵括臺灣栽培面積大的荔枝及龍眼等果樹，以及常作爲行道樹、校園與公園綠地等都市 林的景觀樹，以及造林樹種的臺灣原生樹種臺灣欒樹和無患子，族群迅速增加，約於 2018 年起大量發生。荔枝椿象對粗放栽培的龍眼而言成爲了一極大的威脅，也使龍眼的栽培管理增加了防治難度與成本(陳等，2019)。

目前國內龍眼鮮果以內銷市場爲主，鮮少外銷(農糧署，2026)。114 年國內龍眼鮮果(粉殼)平均價格爲 57.6 元/公斤、其他品種 65.9 元/公斤、十月眼 69.7 元/公斤，其中 6 月下旬的價格甚至一度超過 160 元/公斤。比較 114 年荔枝(玉荷包)的平均價格 149.6 元/公斤，黑葉 59.1 元/公斤，竹葉黑 60.9 元/公斤，顯示近年來龍眼的價格與中熟品種荔枝趨近甚至有超過的趨勢(農產品批發市場交易行情站，2026)。

我國在龍眼乾的部分有極大的產業需求，自 2002 年加入 WTO 後，大量自越南及泰國進口龍眼乾，2025 年分別進口了 765 公噸及 114 公噸(農糧署，2026)。農業部(2001)分析泰國進口龍眼乾價格每公斤僅 40 元，較國內桂圓肉每公斤生產成本約 120 元低甚多，故開放桂圓肉進口，對國產桂圓肉影響較大。但從 2002 年臺灣龍眼乾開始也有少量外銷至香港、加拿大、新加坡、美國、紐西蘭、澳大利亞、澳門、日本等國家，顯示臺灣龍眼乾與越南及泰國進口龍眼乾之市場區隔(農糧署，2026)。

龍眼的生產成本中，人力成本占比較高，以 2023 年(豐產年)農糧署統計的每公頃生產費用約爲 193,663 元，其中人工費占 123,952 元(64%)，每公斤生產成本約爲 32.7 元。龍眼的農藥和肥料成本僅約占 15%，資材與管理支出較低，因此適合有機栽培，可能是龍眼產業的機會所在(2026, 農糧署)。

臺灣龍眼產業歷史與變遷

臺灣的龍眼由日據時代開始有系統的調查紀錄，大致可分成光復前(1909~1945 年)、光復後(1946~1999 年)及近代(1994~2026)。

1. 光復前(1909~1945 年)

栽培面積大多維持在 1,500~2,800 公頃間，其中於 1923 年(大正 12 年)達到高峰，爲 3,738 公頃。年產量最高紀錄則是在 1910 年，達到 23,980 公噸。當時，龍眼主要以實生繁殖方式(種子播種)，但由於缺乏系統性管理，使得後代遺傳變異十分明顯，果實品質也因而參差不齊(趙和張，1997)。

當時的龍眼品種的分類主要根據果形大小及品質來區分，大致上可劃分爲四類。'福眼'是果實最大且品質最佳的品種；'水肉眼'屬於中等果型，並有較高甜度；'糖酸肉眼'的果實偏小，含酸量較高；'鈕仔眼'則是果實最小、品質最低，不適合用於烘焙加工(昭屋全昌，1942；趙和張，1997)。

2. 光復後(1946~1999 年)

經歷了從戰後復甦、技術導向的產量爆發。光復初期受戰爭影響，由於戰後初期物資匱乏，人民追求食衣溫飽，政府政策以發展糧食自給爲主，此時期龍眼種植面積穩定維持在 2,000 公頃左右，年產量約爲 1 萬至 2 萬公噸，與光復前差異不大(趙和張，1997)。

1960 年代後因工業發展與國民所得提高，需求大增，才開始有規模的選種與推廣。農復會（農業部前身）開始重視果樹產業發展，積極推動新品種引進與相關研究（黃，1959；1976；顏，1988）。1960~1965 年間，由嘉義農業試驗所針對全省優良地方品種進行調查與選拔（張，1965），確定包括'粉殼'、'隘寮'、'楊桃葉'、'昭安寮'、'湖底'、'緞纁'與'十月龍眼'等具優良特性的品種，並引導農民實施高接更新作業（張和王，1966）。在各品種中，因'粉殼'具有高產量及卓越品質，其後續栽培面積占全產業比重逾八成，成為主流品種。

隨著產業快速發展，種植面積與產量逐年增加，至 1991 年達到歷史高峰，種植面積達 13,186 公頃，產量高達 125,937 公噸(農糧署，2026)。由於產期集中，盛產時市場供過於求，導致價格低廉。當時中部一帶流傳「揀啊揀，揀著賣龍眼」的相關俚語，反映出當時種龍眼並非高收入行業的社會現象。相對地，當時的時空背景也促進了外銷的發展。在 1989 年龍眼鮮果外銷量曾達 988 公噸，龍眼乾的外銷量亦曾於 1995 年達 3,545 公噸(農糧署，2026)。與此同時，政府也開始重視採收安全，顏(1994)建議以矮化栽培管理龍眼樹，避免其自然生長至 10 公尺以上，減少需攀爬樹冠的勞力和摔傷風險。

3. 近代(2000~2026)

在農業試驗單位及農會的大力推廣下，約於 2000 年代，龍眼產業陸續規模化實施矮化栽培。台中縣政府(當時尚未合併)於 2006~2009 年間積極舉辦龍眼評鑑，透過農會輔導，霧峰區桐林、峰谷等地的龍眼林多完成矮化處理與疏果，使果粒勻稱、產量穩定，在評鑑中展現出高品質特色(大紀元，2006；臺中市政府，2009)。

嘉義分所於 1997 年在嘉義竹崎地區進行種原蒐集調查發現大果形地方品種'水貢種'並開始推廣(趙和張，2000)。'水貢種'是目前產業中果形最大的品種，適合鮮食及加工，具有極高的市場價值，儘管其種子較大，果肉率未達 70%，當時認為仍極具潛力。而近 10 年來，消費者的習慣也開始影響龍眼產業，大果、適合精緻栽培的'勐蒂'品種（應與'水貢種'相同）開始漸漸取代'粉殼'成為主流品種。

另一方面，自臺灣 2002 年加入世界貿易組織後，國內龍眼產業亦有遭受衝擊，新鮮龍眼受限於不耐貯運特性，產業影響較小，然而桂圓肉加工品則受到泰國和越南低價競爭，產業轉往精緻化及品牌化發展以區隔市場(農業部，2001；農糧署，2026)。

近代是龍眼栽培技術快速發展的年代，顏等(2001)年發表氯酸鉀可以促進龍眼開花之技術，此為龍眼產業發展史上的重大突破，它解決了龍眼長期以來產量不穩定的問題，並展現了全年生產的潛力。然而這項催花技術在臺灣沒有被廣泛運用，受限於氯酸鉀不易取得，為受管制的危險化學藥品；另外，台灣的龍眼樹樹齡多較長，根埋得較深，氯酸鉀澆灌至土壤後不易吸收，因此催花效果不穩定，或有土壤施用殘效較長，導致催花效果不整齊，或易造成樹勢衰弱等負面效果(蔡等，2010)。氯酸鉀技術的發現將龍眼從依賴自然氣候的作物轉變為可高度人工管理的經濟果樹，是現代龍眼產業鏈得以整合與全球化的核心技術支柱。

龍眼產業於此時期也面臨了國際化的威脅及氣候的挑戰。外來入侵害蟲「荔枝椿象」大幅增加了龍眼防治作業的難度與成本，使過去粗放管理甚至不噴藥管理也可收穫果實的龍眼產業，轉變為必須積極進行蟲害管理及配合區域防治，才能確保正常著果(陳等，2019)。

另一方面，氣候變遷也對產業造成極大的衝擊，尤以 2019 年暖冬導致全臺龍眼開花率顯著降低，產量減少九成，引發社會高度關注(上下游，2019)，2022 年受到暖冬及前一年豐產所影響，也有發生部分地區開花不良之情形，同時也衍生出許多天然災害救助問題。

在氣候變遷的衝擊下，學術與研究機構重新投入催花技術的研究與推廣工作(朱，2020；2021；2022；2024；農業部農業試驗所，2025)。然而，目前氯酸鉀於國內尚未取得合法登記，其屬於新型藥劑，需由農藥廠商完成商品化後提出申請，並經農藥管理單位評估審核，方可核准使用，以促進相關技術之發展與推動。

表一、臺灣龍眼品種演變概況表

時期	主要品種或分類	演變特點與說明
日治時期	'福眼'、'水肉眼'、'糖酸肉眼'、'鈕仔眼'	當時多採用實生繁殖，後代變異極大，果實品質參差不齊；龍眼多被視爲森林保育與建築木材，果實爲副產品。
光復後	'粉殼'、'隘寮'、'楊桃葉'、'昭安寮'、'湖底'、'緞纙'、'十月龍眼'、各地區地方品種	政府資助進行全臺優良地方品種調查與篩選，確認四大品系並引導農民高接更新，奠定現代商業栽培基礎。產業大幅擴張，'粉殼'占全台 8 成以上。
現代	'翹蒂' ('水貢')、'粉殼'	果粒較大、適合精緻栽培的'翹蒂'品種逐步取代傳統的'粉殼'，成爲市場主流品種。

世界龍眼產業現況

龍眼的主要產區集中在印度半島、東南亞與東亞，其中以中國、泰國和越南爲核心，三國合計產量占全球九成以上。此外，美國、澳洲及臺灣等亞熱帶地區也有一定規模的栽培與供應(Altendorf, 2018)。龍眼在聯合國糧食及農業組織的統計資料中被分類在「小宗熱帶水果」(HS 代碼 810.90)，在 2019~2023 年間，龍眼與火龍果是交易量最顯著的小宗熱帶水果，年平均貿易量約爲 80 萬公噸(FAO, 2024)。泰國與越南是全球小宗熱帶水果的主要出口國，兩國合計占全球出貨量的極大比例(越南占 46%，泰國占 17%)，而龍眼是這兩個國家的重要外銷農產品。中國是栽培面積最大也是全球最大的進口市場，接收了幾乎所有來自泰國與越南的龍眼供應(Food and Agricultural Organization, 2024)。

Altendorf (2018)指出世界龍眼產量在 2007~2016 年間快速擴張，年均增長率估計爲 4.6%，而中國市場需求的增長是主要驅動力，包含中國自身以及其最大進口來源國泰國，均在作物擴張方面投入了巨資，2017 年中國的龍眼進口量達到約 4.9 萬公噸，年增率估計高達 140%。

中國龍眼產業

中國是龍眼的原生地區，目前爲全球最大的龍眼生產國，也是最大的進口國。中國的龍眼產區主要分布於廣東、廣西、福建、海南、雲南、貴州、四川及浙江。其中，廣西、廣東及福建的龍眼栽培面積占各省果樹總面積的 13-20%，是當地的支柱產業(Qiu, 2014)。2023 年中國龍眼種植面積約爲 418.8 萬畝，總產量達到約 227 萬公噸，產值 157.4 億元人民幣(約 732 億新臺幣)。產業發展重點爲廣東、廣西、福建三地，未來趨勢集中在推廣'脆蜜'優質品種、進行產期調節以應對市場波動，並提升加工與出口比例(茂名市農業農村局和南方農村報社，2024)。

中國擁有超過 400 個豐富多樣的龍眼品種，建立了全球規模最大、類型最豐富的國家級龍眼種質資源圃。各省栽培的主要品種如下：福建主要栽種有'福眼'、'烏龍嶺'、'松風本'和'立冬本'，亦發表了'冬寶 9 號'、'寶石 1 號'、'翠香'等優質雜交新品種；廣東則以'石硤'及'儲良'爲主；廣西則盛產'大烏圓'及'廣眼'等品種(鄭等，2019；Qiu, 2014)。中國在龍眼育種與分子研究領域目前居於國際領先地位。育種目標從早期的追求高產轉向培育早熟或晚熟、大果、焦核(小核)及獨特風味的品種，並提升耐貯藏性和加工性能(Pan et al., 2010)。自 1998 年起陸續育成'冬寶 9 號'、大果優質'寶石 1 號'、'翠香'、'秋香'(晚熟，豐產穩產，香氣濃郁)、'冬香'(極晚熟，香氣濃郁，大果)等不同成熟期的品種，其中'冬香'爲目前全球最晚熟的品種(文等，2025；鄭等，2019)。

Lin 等(2017)解析了'紅核子'龍眼的基因體序列(2n=2x=30)，大小約 471.88 Mb，其中包含逾三萬個基因。其中，龍眼的苯丙烷類和類黃酮生合成相關基因家族明顯擴張，可能導致果實多酚化合物積累增加，NBS-LRR 家族顯示龍眼可能具有抗蟲、抗真菌和細菌的基因(Lin et al., 2017)。基因體解序後促進了龍眼從傳統育種向功能基因組學與分子輔助育種(MAS)，Wang 等(2022)再解析了另一品種'JDB'的基因體序列，後續進行全基因組關聯分析(GWAS)鑑定了 6 個不同果實品質性狀的數量性狀位點(QTL)，並發現了一個包含 3 個基因的共有 QTL，該 QTL 控制總可溶性固形物和種子重量。Hu 等(2025)發現了 6 個調控龍眼酯類香氣合成的關鍵基因(如 *AKRs*、*ALS2*、*bZip1* 等)，爲香味龍眼育種提供參考。而 Zhao 等(2025) 組裝了'石霞'龍眼品種的高品質基因組，進一步揭示了氯酸鉀誘導反季節開花涉及 *DlDDF1*、*DlFLCs* 和 *DlSVPs 的抑制以及 DlWRKY75_2* 的上調；在持續開花品種'四季蜜'中，光週期基因(如 *DlCOR28*、*DlCOR27*、*DlADO3*、*DlPRR5*、*DlGI* 和 *DlJMJ30*)的高表達可能解釋了其持續開花的現象。

中國龍眼產業正進行價值重構，利用科技提升品質，並以市場策略將龍眼打造爲健康精品水果，產業發展聚焦於結構調整及價值提升，主要包括：科研育種，加速優質品種培育；產期調節，運用氯酸鉀催花和不同熟期品種穩定供應；加工保鮮，開發控色、防腐技術與即食包裝及健康產品，延伸產業鏈(鄭等，2019；Xiao and Gan, 2025)。

泰國龍眼產業

泰國爲全球第二大產國，也是最大的龍眼出口國。泰國種植面積約 26 萬公頃，年產量約 142 萬公噸，平均單位面積產量約 5,394 公斤/公頃(Office of Agricultural Economics, 2024)。與聯合國糧農組織 (Food and Agricultural Organization, 2000) 報告相比較，1998 年種植面積僅 41,504 公頃，至 2024 年種植面積已大幅增加約 650%。泰國龍眼產業大幅成長的主因爲催花技術的發現，大幅拓展了熱帶地區的龍眼種植業(Mei et al., 2025)。目前可行周年生產(Jaroenkita and Manochai, 2019)。泰國北部地區是龍眼核心產區，包含北部八府：清邁(Chiang Mai)、南奔(Lamphun)、清萊(Chiang Rai)、帕堯(Payao)、南邦(Lampang)、帕(Phrae)、難府(Nan)、達府(Tak)等地區，以生產自然產季(In-season)果實爲主，與台灣相似，主要產季爲 6~9 月，其中 7~8 月爲高峰(38.98%)(Office of Agricultural Economics, 2024)。然而，北部地區近年種植面積有略微下降的趨勢，部分老舊果園轉作榴槤、咖啡、橡膠或油料作物。其餘月份被歸類於反季節產季(Off-season)，反季節生產以中部地區主，包含尖竹汶府(Chantaburi)與沙繳府(Srakaew)，該區約有 9 個月(9 月~隔年 5 月)在生產反季節龍眼，中部地區也是泰國生產力最高的區域，平均公頃產量達 11.4 噸，顯著高於全國平均(Jaroenkita and Manochai, 2020; 2026)。

'Daw'(或稱'E-daw')爲泰國最重要且最普及的商業品種，占泰國所有出口龍眼的 95%，其特性是產量穩定、適應性強，在全國各產區均有廣泛種植。'Si-chompoo'(或稱'Si-

compoo')、'Haeo'及'Biaokhiao'均爲泰國傳統品種，主要種植於北部地區，供應國內鮮果消費市場(Anupunt and Sukhvibul, 2005; Jaroenkita and Manochai, 2020; 2026)。其中'Biaokhiao'花粉在低溫環境(15°C)下的萌發率較高，因此在冷涼季節的生產表現較佳。'Pongthong'(黃金)品種則在中部地區較爲知名(Anupunt and Sukhvibul, 2005)

泰國的龍眼超過半數的龍眼年產量經由國際貿易流通，出口市場主要依賴中國大陸、越南、印尼、香港及馬來西亞等東南亞市場，2020 年龍眼外銷以鮮龍眼占 74%、乾龍眼占 24%、罐頭龍眼占 2%(Department of Trade Negotiations, Ministry of Commerce, 2023)。

越南龍眼產業

越南龍眼的栽培面積約 8.2 萬公頃，產量約 59 萬公噸(General Statistics Office, 2024)，單位面積產量約爲 9 公噸/公頃，平均出口單價則介於 2,000~4,000 美元/公噸之間(Food and Agricultural Organization, 2024)。龍眼在越南水果作物中的重要性排名第五，僅次於腰果、椰子、香蕉、荔枝和紅毛丹(Pham et al., 2013)。主要產區方面，北部以興安省(Hưng Yên)和山羅省(Sơn La)爲主，其中山羅省逐漸成爲新興主力，產品主要出口澳洲和歐盟。而南部湄公河三角洲是全國重要產地，包括永隆(Vĩnh Long)、前江(Tiền Giang)和同塔(Đồng Tháp)三省，產量占全國三成以上，能全年供應鮮果，並積極推行 VietGAP 認證，是關鍵的出口龍眼基地(General Statistics Office, 2024)。

在北部省份，原本龍眼的採收期約於 7 月中旬至 10 上旬，盛產期爲 7 下旬至 9 月上中旬，催花技術的應用，主要是環刻和土壤灌注氯酸鉀，使採收期從每年 2.5 個月延長至 5~6 個月(6 月至 11 月) (Binh，2015; Hung et al., 2020)。在南方省份，自然開花的龍眼品種會被修剪以促進生長和提高產量。'Tieu da bo'龍眼很難自然開花，必須採用環刻結合氯酸鉀灌注催花，劑量約爲 30 g・m^{-2}，在灌注後 5~7 天進行輕微環刻，從環刻到收穫的持續時間爲 5~5.5 個月(Chau, 2005; Hung et al., 2020)。

在品種方面，'Nhãn lồng Hưng Yên'(興安龍眼)是北部地區傳統具有代表性的地方品種 (Pham et al., 2013)。而南部的湄公河三角洲傳統上主要栽培四季龍眼，'Nhãn tiêu da bò'('Tieu da bo'; 'TDB')爲主要品種，栽培面積約占當地 70%，具生長勢旺盛、高產量、果核小且肉厚，且可兩年收穫三次的優良特性，但對鬼帚病(witches' broom disease)較爲敏感。'Nhãn xuồng cơm vàng'(XCV)主要分布於頭頓及湄公河三角洲，果實大且肉厚、品質優良，並具備較強的鬼帚病抗性。'Nhãn Long'從結果到收穫的時間較短(2.5 個月)，一年可採收兩次，然而因其果皮薄及種子大，多以國內市場供應爲主(Pham et al., 2013)。

近年來，Hung 等(2020)也指出越南亦引進並育成多種具商品潛力之新品種，例如來自中國的'Thach Kiet'，以及自泰國引進的'Daw'。由於'Daw'具高商品價值且對鬼帚病具抗性，目前已成爲湄公河三角洲廣泛推廣品種，普遍採用催花技術，實施周年生產，反季節價格可達正期果的 2~3 倍。'Nhãn Tím'(紫龍眼)爲朔莊省所培育的新興品種，葉片與果實形態與'Nhãn Long'相似，但呈現紫色，具高度市場潛力。'Thanh Nhan'(清龍眼)微薄寮省登記之新品種，葉片和果實形態與'Nhãn xuồng cơm vàng'相似。

在外銷市場方面，對中國外銷金額曾超過 1 億美元，且爲增強國際競爭力，越南積極推動 VietGAP 認證以及 DNA 條形碼技術，用以進行品種鑑定與溯源管理。然而，自 2000 年以來，鬼帚病對越南的產業影響日益加劇，嚴重影響湄公河三角洲龍眼的種植規模，成爲越南龍眼產業發展的主要限制因素。其次，對中國市場的高度依賴使出口易受中國本地產量及採購政策變化影響(Hau and Hieu,2020)。

表二、各國龍眼主要栽培品種

國家	品種	引用文獻
中國	福建-'福眼'、'烏龍嶺'、'松風本'、'立冬本' 廣東-'石硤'、'儲良' 廣西-'大烏圓'、'廣眼'	鄭等，2019；Qiu, 2014
泰國	'Daw' ('E-daw') 其他如'Biew Khiew'、'Si-chompoo'、'Haeo'、'Pongthong'	Anupunt and Sukhvibul, 2005; Jaroenkita and Manochai, 2020; 2026
越南	Tieu Da Bo、Xuong Com Vang、'Daw'('E-daw'，引自泰國)	Hau and Hieu,2020; Hung et al., 2020; Pham et al., 2013;
美國	'Kohala'	Campbell and Campbell, 2001
澳洲	'Kohala'、'Biew Khiew'	Menzel, 1989; Nicholls, 2001

結語

臺灣的龍眼在國內需求依然旺盛，近十年來，產業也有逐漸出現轉型跡象，受到年輕消費者偏好的影響，果粒較大、適合精緻栽培的'割蒂'品種逐步取代傳統的'粉殼'，成為市場主流品種。農民會投入人力進行疏花與疏果，以確保果實能夠長得更大，而經過疏花、疏果管理的'割蒂'品種，單果重量可達約 15~20 公克；相較之下，'粉殼'品種的平均果重僅約 8~12 公克，差異相當明顯。隨著果品價值提升，農民的投入意願逐漸增加，顯示臺灣龍眼產業未來仍具備相當的成長潛能。然而相較於其他主要生產國，臺灣的產業發展速度顯得停滯，農民普遍仍未廣泛採用催花技術，甚至在部分情況下依賴天然災害救助。依據國際發展經驗，南部如屏東、高雄等氣候較炎熱的縣市，未來有望透過氯酸鉀的產期調節技術，來減緩氣候變遷所帶來的衝擊，並進一步推動全年生產的可能性。

參考文獻

上下游新聞。2019。龍眼的極端挑戰！冬天高溫不開花，龍眼果實減產 9 成，龍眼蜜一滴未收。上下游新聞。https://www.newsmarket.com.tw/blog/124279/（2026-04-17）。

大紀元。2006。建立農特產品牌中縣舉辦龍眼果品評鑑。大紀元。https://www.epochtimes.com.tw/b5/6/8/22/n1430226.htm（2026-04-17）。

王婉佮、張哲瑋、薛吉人。2010。龍眼產業現況及潛力。技術服務 21(4):6-9。

文英杰、唐志嫺、史發起、劉海倫、姜永華、嚴倩。2025。我國荔枝、龍眼新品種保護現狀分析及發展對策研究。廣東農業科學 52(4):120–132。

朱彧瑩、柯昱成、張哲瑋。2020。氯酸鉀於龍眼催花之研究。臺灣園藝 66(增刊):47-48。

朱彧瑩、柯昱成、張哲瑋。2021。早秋季節施用氯酸鉀於龍眼催花效果之研究。臺灣園藝 67(增刊):92。

朱彧瑩、柯昱成、張哲瑋。2022。龍眼春季催花作為調適栽培方法之研究。臺灣園藝 68(增刊):94-95。

朱彧瑩、柯昱成、張哲瑋。2024。內門地區龍眼秋季催花之研究。臺灣園藝 69(增刊):100。

吳庭嘉、陳盟松。2020。龍眼因應氣候變遷之栽培管理調適措施。臺中區農業技術專刊 02:27-30。

周成、馮春梅。2006。荔枝龍眼冷鏈物流保障體系建設。廣西熱帶農業 (2):19-20。

周書立、張嵐雁。2019。龍眼栽培與利用。臺南區農業專訊 108:1-8。

昭屋全昌。1942。熱帶果樹類圖說。臺灣農會 pp. 158-160。

柯昱成、方信秀、朱彧瑩、李雪如、張哲瑋、張嵐雁、陳盟松。2023。荔枝、龍眼。農作物天然災害損

害率客觀指標 pp. 180-185。
孫圃芬。2003。龍眼生產成本與收益分析。高雄區農情月刊 69:3-3。
茂名市農業農村局、南方農村報社。2024。中國·茂名荔枝產業發展白皮書。
張振亩。1965。臺灣龍眼之品種及栽培現況。科學農業 13(1-2):41-47。
張振亩、王勝鴻。1966。龍眼高接法。嘉義農業試驗分所熱帶果樹資料之一。
陳盈丞、黃慈閔、張淳淳。2019。荔枝椿象藥劑防治研究。臺南區農業改良場研究彙報 (4):72-82。
黃啓章。1954。臺灣之龍眼。臺灣銀行季刊 6(3):148-166。
黃弼臣。1959。臺灣龍眼品種略窺。中國園藝 5(1):24-27。
黃弼臣。1966。龍眼樹之開花結果習性。中國園藝 12:47-58。
農產品批發市場交易行情站。2026。https://amis.afa.gov.tw/main/MainMobile.aspx (2026-04-17)。
農業部。2001。加入 WTO 農民宣導資料 (歷史文獻)。農業部。
https://www.moa.gov.tw/ws.php?id=990 (2026-04-17)。
農業部農業試驗所。2025。暖冬不愁龍眼沒開花！農試所改良氯酸鉀催花技術助農民穩產。農業知識入口網。https://kmweb.moa.gov.tw/theme_data.php?theme=news&sub_theme=variety&id=90714 (2026-04-17)。
農糧署。2024。農業統計年報。農糧署。
農糧署。2026。農業統計資料查詢。農糧署。
https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/maintenance/Announce.aspx (2026-04-17)。
臺灣農家便覽。1932。臺灣總督府。
臺灣省政府農林廳。臺灣農業統計年報 (各年期)。臺灣省政府農林廳。
趙政男、張哲瑋。1997。臺灣龍眼栽培之回顧與展望。臺灣農業 33(1):23-35。
趙政男、張哲瑋。2000。龍眼大果形品種水貢種簡介。技術服務 42:22-25。
蔡尚翰、白欣澤、顏昌瑞。2010。農業科技之探索：龍眼周年開花技術及其機制。農業世界 (324):10-15。
鄭少泉、曾黎輝、張積森、林河通、鄧朝軍、莊伊美。2019。新中國果樹科學研究 70 年：龍眼。果樹學報 36(10):1414-1420。
臺中市政府。2009。優質龍眼果品評鑑出爐張仲景榮獲龍眼達人。臺中市政府。
https://www.taichung.gov.tw/8868/8872/9962/954327 (2026-04-17)。
臺南市東山區公所。2014。特產小吃－東山龍眼。臺南市東山區公所。
https://dongshan.tainan.gov.tw/News_Content.aspx?n=6629&s=72758 (2026-04-17)。
顏昌瑞。1988。龍眼栽培。八萬農業建設大軍訓練教材。臺灣省政府農林廳編印。
顏昌瑞。1999。龍眼催花方法與週年生產。高雄區農業專訊 (28):14-15。
顏昌瑞、張哲瑋、謝鴻業、林宗賢。1993。荔枝與龍眼育種。果樹育種研習會專刊。
顏昌瑞、趙政男、張哲瑋。2001。化學藥劑對龍眼催花之影響。中國園藝 47:195-200。
Altendorf, S. Minor Tropical Fruits (Mainstreaming a Niche Market). Food Outlook 2018, 67-75.
Anupunt, P.; Sukhvibul, N. Lychee and longan production in Thailand. Acta Hortic. 2005, 665, 53-60.
Binh, N.H. Introduction of Some Fruit Trees in the North. Publisher: Hanoi: Agricultural Publishing House, 2010.
Binh, N.H. Summary Report of the Study Research on Selecting High Quality Varieties of Litchi and Longan Varieties for Domestic Consumption and Export in the Northern Provinces. Publisher: Hanoi: Fruit and Vegetable Research Institute, 2015.
Campbell, R.J.; Campbell, C.W. Longan Evaluation and Selection in Florida, USA. Acta Hortic. 2001, 558, 125–127.
Chau, N.M. Synthesis Report of Research on Scientific and Technological Solutions and Export Markets for Some Fruit Trees: Mangosteen, Pineapple, Dragon Fruit, Longan, Lychee and Mango. Publisher: Tien Giang: Southern Fruit Tree Institute, 2005.
Chau, N.M. Introduction of Popular Fruit Varieties in the South. Publisher: Ho Chi Minh City: Agricultural Publishing House, 2009.
Department of Agriculture. Production and market of longan. Bangkok, 2023.
Department of Trade Negotiations, Ministry of Commerce. Longan and products for export. Bangkok, 2023.
Food and Agricultural Organization. Longan Production in Asia. Rome, 2000.
Food and Agricultural Organization. Minor Tropical Fruits Global Trade Overview 2024. Rome, 2024.
General Statistics Office. Statistical Yearbook of Viet Nam 2024. Statistical Publishing House, 2025.
Hau, T.V.; Hieu, T.S. Induction of flowering in longan in the Mekong delta, Vietnam. Acta Hortic. 2020, 1293, 193-202.
Hu, W.; Zhang, Q.; Deng, C.; Xu, Q.; Jiang, J.; Chen, X.; Li, J.; Zhang, J.; Zheng, S. Construction of high-density bin

genetic map and QTL mapping of fruit aroma in longan (*Dimocarpus longan* Lour.). Front. Plant Sci. 2025, 16, 1642854.

Hung, N.Q.; Hung, V.V.; Hong, N.T.B.; Bay, D.T.B. Current status of longan production in Vietnam. Acta Hortic. 2020, 1293, 15–20.

Jaroenkit, T.; Manochai, P. Current practices and research in off-season longan production in Thailand. Acta Hortic. 2020, 1293, 185-192.

Jaroenkit, T.; Manochai, P. Longan and lychee in Thailand: production, industry, research and development. Acta Hortic. 2026, 1447, 13-22.

Lin, Y.; Min, J.; Lai, R.; Wu, Z.; Chen, Y.; Yu, L.; Cheng, C.; Jin, Y.; Tian, Q.; Liu, Q.; Liu, W.; Zhang, C.; Lin, L.; Hu, Y.; Zhang, D.; Thu, M.; Zhang, Z.; Liu, S.; Zhong, C.; Fang, X.; Wang, J.; Yang, H.; Varshney, R. K.; Yin, Y.; Lai, Z. Genome-wide sequencing of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) provides insights into molecular basis of its polyphenol-rich characteristics. GigaScience 2017, 6(5), 1-14.

Mei, J.; Zhao, G.; Hua, X.; Zhang, J. Advances in research of potassium chlorate-induced flowering in longan. Trop. Plants 2025, 4(1), 5.

Menzel, C.M. The Subtropical Longan: An Australian View. Queensl. Agric. J. 1989, 115(5), 244–249.

Mitra, S. K.; Pan, J. Litchi and longan production and trade in the world. Acta Hortic. 2019, 1293, 1-6.

Nicholls, B.G. A Perspective of the Australian Longan Industry. Acta Hortic. 2001, 558, 45–47.

Office of Agricultural Economics. Agricultural Statistic of Thailand. Bangkok, 2024.

Pan, D.M.; Zhong, F.L.; Guo, Z.X.; Pan, T.F.; Li, K.T.; Wang, J.B. Research on Germplasm Resources and Breeding of Longan (*Dimocarpus longan* Lour.) in the Past Decade in China. Acta Hortic. 2008, 863, 79-86.

Pham, V.T.; Tran, M.H.; Herrero, M.; Hormaza, J.I. The reproductive biology of the longan. Proc. 5th Natl. Sci. Conf. Ecol. Biol. Resour. 2013, 18, 1242-1246.

Qiu, D.L. Longan production and research in China. Acta Hortic. 2014, 1029, 39-46.

Sakata, S.; Takanashi, F. Vietnam's Lychee and Dragon Fruit Exports to China: Studies of the Production and Value Chain. Institute of Developing Economies-JETRO, 2018.

Wang, J.; Li, J.; Li, Z.; Liu, B.; Zhang, L.; Guo, D.; Huang, S.; Qian, W.; Guo, L. Genomic insights into longan evolution from a chromosome-level genome assembly and population genomics of longan accessions. Hortic. Res. 2022, 9, uhac021.

Xiao, M.; Gan, W. The Awkward Longan. Front. Bus. Finance 2025, 3(1), 88-101.

Zhao, G.; Jiang, F.; Hu, W.; Zhang, J.; Wang, W.; Tu, S.; Wang, B.; Zhang, Q.; Mei, J.; Lin, L.; Qi, Y.; Chen, X.; Li, J.; Ming, R.; Zheng, S. Improved longan genome assembly reveals insights into flowering mechanisms. Plant Biotechnol. J. 2026, 24, 1678-1696.

Developmental Status and Trends of the Longan Industry

Yu-Ying Chu[1,*], Yu-Cheng Ko[1] and Jer-Way Chang[2,*]

[1] Assistant Researcher, Department of Horticulture, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Ministry of Agriculture; yuyingchu@tari.gov.tw; axyz0852406@tari.gov.tw
[2] Researcher and Branch Director, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Ministry of Agriculture; jerway@tari.gov.tw
* Correspondence: yuyingchu@tari.gov.tw; jerway@tari.gov.tw

Abstract

Longan (*Dimocarpus longan* Lour.) is an important fruit tree and nectar crop in Taiwan. In recent years, the industry has faced challenges such as concentrated harvest periods, poor storability of fresh fruit, typhoon risks, alternate bearing, and unstable flowering caused by warm winters and inadequate bud differentiation. Longan cultivation in Taiwan has gradually shifted from extensive management to more refined practices. Since the 1960s, surveys of local varieties and grafting renewal established the foundation of the industry, with cultivars such as ‘Fenke’ becoming mainstream. More recently, dwarf cultivation, fruit quality evaluation, and branded processing have been promoted, with dried longan serving both domestic and export markets. However, after Taiwan’s accession to the WTO, imports of dried longan increased, intensifying competition in domestic processing. This paper also reviews the global longan industry, noting that China is the largest producer and exporter, while Thailand and Vietnam are major exporters. Both countries have widely adopted aluminum foil flower induction techniques to regulate production periods and achieve year-round supply. Drawing on domestic and international experiences, Taiwan may consider introducing production period regulation in warmer southern regions, strengthening regional pest control, and enhancing product differentiation and branding strategies to improve industry resilience and competitiveness.

Keywords: production period regulation; dried longan; climate change

解密荔枝開花機制

張仁育[1,*]、邱亭瑋[2]

1 農業部農業試驗所農業化學組 副研究員
2 農業部花卉創新園區研究發展中心研究發展科 助理研究員
*聯繫人 e-mail: jychang@tari.gov.tw

荔枝為典型受低溫調控開花的亞熱帶果樹，其馴化歷史與不同熟期品種的形成，反映了遺傳背景與環境適應之間的密切關聯。既有研究指出，荔枝開花仰賴冬季低溫訊息，且枝梢成熟程度與涼溫累積共同決定花穗形成的成敗。在分子層次上，成熟葉片中的 *LcFT1* 為低溫誘導成花的關鍵因子，其啓動子序列變異與 *LcSVP9* 的抑制作用，可解釋早、晚花品種對低溫敏感度的差異。*LcFT1* 進一步透過如 *LcSOC1*、*LcLFY* 與 *LcAP1-2* 促進莖頂分生組織的成花轉換。而頂芽休眠則受 *LcSVP2*、*LcSMOS1* 引導的失水調控機制所維持。植物荷爾蒙亦參與其中：離層酸與乙烯參與芽體休眠調節，而細胞分裂素則可促進花芽分化，並影響荔枝的年際表現。最後，基於機器學習與成花誘導區間的研究顯示，溫度仍是決定荔枝開花的核心環境因子，而相關涼溫累積模擬結果可作為氣候變遷影響評估與栽培管理決策的重要依據。

關鍵字：涼溫需求、*LcFT1*、成花誘導、植物荷爾蒙、植物生長調節劑

引言

荔枝起源於中國南方，已被人類栽培利用數千年，迄今該果樹生產已遍布世界 20 國以上(Zhao et al., 2020)。2022 年中國華南農業大學等研究團隊從基因體層面的探索揭示了荔枝的馴化歷史，也為當代荔枝開花生理提供重要的線索：研究團隊推測，荔枝可能起源於雲南地區，並隨水路傳播到兩廣地區與海南島；經歷了兩次獨立的馴化事件，分別建構出我們現在所認知的極早熟品種（獨立馴化自雲南野生族群）與晚熟品種（獨立馴化自海南野生族群），以及雜交培育而活躍於市場的商業品種(Hu et al., 2022)。儘管存在開花時間的差異，荔枝在開花調控機制的保守性，讓其生產區域侷限於亞熱帶地區周邊：因為荔枝開花需要感受來自冬季低溫的環境訊息(Huang and Chen, 2014)。

荔枝開花需要涼溫誘導與成熟枝梢

1959 年邁阿密大學 Mustard 與 Lynch 觀察到抽梢的時間與荔枝是否成功形成花穗有關聯(Mustard and Lynch, 1959)；而後，1966 年夏威夷大學的 Nakata 與 Watanabe 以冷房試驗證實低溫是誘導荔枝開花的關鍵因子(Nakata and Watanabe, 1966)，自此荔枝開花的研究逐漸建立「荔枝成功抽穗開花仰賴枝梢適時成熟以感受充足低溫」的基調(O’Hare, 2002)。接下來的問題是，滿足花芽分化的溫度門檻、以及需要誘導的時間週期是多久呢？Menzel 與 Simpson (1995) 提出高於 20°C的氣溫將使荔枝開花率下降的實證；而‘Wai Chee’ 品種若在 15°C誘導環境中，經歷 4 週以上的涼溫誘導便能開花，但 Batten 與 McConchie (1995)研究顯示，在不同品種之間仍存在發育差異。

涼溫與成熟枝梢的分子調控

當前研究，我們已然知曉溫度門檻與涼溫需求隨遺傳系統而異，特別是來自 *FLOWERING LOCUS T* (*FT*)同源基因 *LcFT1* 的啓動子(promoter)調控：涼溫誘導可以使成熟葉片中 *LcFT1* 大量表現(Ding et al., 2015; Zhang et al., 2017)，不同品種的 *LcFT1* 啓動子存在序列差異，早熟品種的啓動子帶有特定的順式作用元件 (cis-acting elements)，使其對涼溫較為敏感；相對地，晚熟品種的啓動子對涼溫較不敏感，因此需要更長時間的低溫累積(Ding et al., 2015)。其中關鍵的變異點位為啓動子上游-1437 的單核苷酸多樣性(single nucleotide polymorphism, SNP)，在極早花遺傳系中該點位為 G、而晚花遺傳系中則為 A，荔枝中開花抑制基因 *SHORT VEGETATIVE PHASE* (*SVP*) 的同源基因產物 *LcSVP9* 可結合到 A-type 基因型的啓動子進而抑制 *LcFT1* 表現，而在 G-type 中則不然；當低溫來臨時，*LcSVP9* 的表現也會隨之下降而解除對 *LcFT1* 的抑制(Huang et al., 2024)，這些證據說明了低溫門檻與累積需求實則深受分子層面的調控影響，並且印證了荔枝源自 2 大遺傳系統的基因體分析結果。*FT* 基因的蛋白質產物具有可移動性，其被視為開花素(florigen)的主要成分，成為被子植物演化、適應與馴化的關鍵(Pin and Nilsson, 2012)。前面提及低溫環境下，成熟葉片 *LcFT1* 表現是成花轉換的重要一步；而成熟葉片是感應涼溫的器官，即使涼溫充足，缺乏葉片的荔枝植株仍無法形成花芽(Ying et al., 2004)。*LcFT1* 移動至莖頂後，推測能促進另一個成花累積因子(floral integrator) *SUPPRESSOR OF OVEREXPRESSION OF CONSTANS 1* 同源基因 *LcSOC1* 表現：值得注意的是 *LcSOC1* 的表現量亦隨早、晚花品種而有不同表現敏感度，早熟品種對低溫的誘導更為敏感(Shi et al., 2024)。*LcSOC1* 亦可調控下游 *LEAFY* 同源基因 *LcLFY* 表現(Shi et al., 2024)，後者進一步

調控包含 *APETALA1* 同源基因 *LcAP1-2* 在內的下游要角，使莖頂分生組織被賦予成花特性，進而發育成花穗與花芽 (Ding et al., 2018; Gui et al., 2025)。

在頂芽，另一套 *SVP* 調節模組則控制著芽體進入休眠狀態。*LcSVP2* 在頂芽抑制另一個可促進開花的 *FT* 同源基因 *LcFT2* 表現(Ma et al., 2024)，並與 AP2 轉錄因子(AP2 transcription factor)的 *SMALL ORGAN SIZE1* 基因產物 LcSMOS1 結合促進 *LcRAP2.4* 表現進而活化芽體水通道蛋白（如 *LcPIP1;4* 與 *LcPIP1;4a*）表現，而使芽體失水而維持休眠狀態(Ma et al., 2024; Tian et al., 2025)。當環境涼溫到來時，*LcSVP2* 的表現下降而解鎖頂芽的發育(Hu et al., 2018)。涼溫對荔枝成花的調控亦可能涉及表觀遺傳機制。Pan et al. (2025)以 H3K27me3 抑制劑 GSK343 處理冬季低溫誘導中的荔枝，結果顯示 *LcTPS1* 與 *FRIGIDA* 同源基因 *LcFRI* 位點的 H3K27me3 沉積下降，並伴隨其表現上升；葉片中 *LcFT1* 表現量則下降，顯現成花延遲及開花率降低。

植物荷爾蒙也參與荔枝成花調控

植物荷爾蒙在荔枝成花發育轉換中也具有重要的角色。離層酸(Abscisic Acid, ABA)在休止狀態的芽體中具有相對較高的濃度，並透過促進 *LcSVP2* 與 *LcSMOS1* 表現使芽體維持休止(Ma et al., 2024)。乙烯(ethylene)雖然有類似前述 ABA 的調節機制，但實則更為複雜。1978 年黃與翁對以 480 ppm 益收生長素(ethrel)浸漬處理冬季萌發的荔枝新梢均改善了「黑葉」與「高雄早生」的花穗萌發率。益收生長素的有效成分 ethephon 被植物體吸收以後在鹼性環境中快速分解並釋放出乙烯(Domir and Foy, 1978)。迄今，在荔枝控梢過程施用益收生長素控制冬梢萌發已成為荔枝生產的常見操作(Papademetriou and Dent, 2002)。當荔枝植株噴施益收生長素後，頂芽的乙烯訊號傳遞轉錄因子 *LcEIN3* 快速地反應並大量表現，並使 *LcSV2* 表現略微增加(Cronje et al., 2022)。然而與 ABA 不同的是，即使同樣促進 *LcSV2* 與 *LcSMOS1* 的調控，在對「妃子笑」('Feizixiao') 休眠芽施以 ABA 與乙烯複合處理後 *LcRAP2.4* 與 *LcPIP1;4* 表現量均較單獨使用 ABA 處理下降，推測乙烯在芽體休眠與脫水途徑中同時扮演促進跟拮抗的調節角色(Tian et al., 2025)。

另一個與荔枝成花調控相關的荷爾蒙是細胞分裂素(cytokinins, CKs)。1985 年 Chen 與 Ku 在嘉義農業試驗分所「黑葉」荔枝中進行 200 mg/L 益收生長素及 200 mg/L 激動素(kinetin)(於益收生長素施用後 20 天處理)複因子試驗觀察到兩種處理均能促進開花，且複合處理的促進效果更佳(Chen and Ku, 1988)。進一步研究指出「黑葉」荔枝花芽誘導發育過程中，導管與芽體 CKs 濃度提高(Chen, 1990, 1991)，而在芽體中外加 5μL 1M 醋酸（含有 100 μg kinetin）促進了花芽分化，顯示 CKs 可能與荔枝成花調控有關(Chen, 1991)。CKs 在葉片表現多寡中似乎預示著植株開花情形是否良好：在具隔年結果的「仙進奉」('Xianjinfeng')荔枝中，大年(on-year)株葉片中的 CKs 如 tZR、iPR 濃度以及 *LcFT1* 的表現量顯較小年(off-year)株高，而對小年株施用 40 mg/kg 6-BA 則可改善荔枝開花情形(Xie et al., 2025)。CKs 反應轉錄因子 *LcARR11* 會正向調控 *LcFT1* 以及玉米素(zeatin)合成途徑中的 *LcIPT3* 表現，意味著來自 CKs 的正回饋強化了成花調控(Xie et al., 2025)。

從分子機制轉換至園藝應用

邱(2019)研究於 20/15℃或 15/13℃控制 *LcFT1* 在「黑葉」荔枝成熟葉片中的表現量與積溫值呈顯著的二次曲線關係，暗示積溫或可反應生理層面的成花調控。從機器學習的結果也支持溫度是荔枝開花的關鍵因子，在衡量枝梢成熟到花穗萌發的成花誘導區間(duration of flower induction, DFI)中，10 個重要特徵中有 7 個與溫度相關，其他分別

是成熟時間、樹齡與大氣溫度(Su et al., 2023)。綜此，Chang et al. (2025)以農業試驗所嘉義分所 2 個荔枝園小區 6 年度的物候調查資料建立 DFI 資料組，以 beta 方程式轉換日均溫（日高溫與日低溫平均值）作爲積溫參數推算「玉荷包」荔枝的涼溫誘導最適溫度爲 19.8℃，當日均溫高過 21.9℃時將無助於涼溫訊息累積。而這些模擬結果，將有助於對氣候變遷影響評估以及栽培管理決策所用。

參考文獻

邱亭瑋。2019。從誘導低溫量與益收生長素施用探討荔枝花序形成與開花。碩士論文，國立臺灣大學。

黃弼臣、翁愼微。1978。荔枝樹晚發新梢處理對增進結果之效果第一報。中國園藝 24: 121-126。

Batten, D. J. and McConchie, C. A. 1995. Floral induction in growing buds of lychee (Litchi chinensis) and mango (Mangifera indica). Aust. J. Plant Physiol. 22: 783-791.

Chang, J., L., Tang, C. C. Chen, Y. T. Zhang, Y. T., and C. L. Chen. 2025. Prediction of inflorescence emergence in 'Yu Her Pau' litchi under climate change using an optimised model. Food Energy Secur. 14:e70032.

Chen, W. S. 1990. Endogenous growth substances in xylem and shoot tip diffusate of lychee in relation to flowering. HortScience 25: 314-315.

Chen, W. S. 1991. Changes in cytokinins before and during early flower bud differentiation in lychee (Litchi chinensis Sonn.). Plant Physiol. 96: 1203-1206.

Chen, W. S. and Ku, M. L. 1988. Ethephon and kinetin reduce shoot length and increase flower bud formation in lychee. HortScience 23: 1078-1078.

Cronje, R. B., Hajari, E., Jonker, A., Ratlapane, I. M., Huang, X., Theron, K. I., and Hoffman, E. W. 2022. Foliar application of ethephon induces bud dormancy and affects gene expression of dormancy-and flowering-related genes in 'Mauritius' litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). J. Plant Physiol. 276: 153768.

Ding, F., Zhang, S., Chen, H., Su, Z., Zhang, R., Xiao, Q., and Li, H. 2015. Promoter difference of *LcFT1* is a leading cause of natural variation of flowering timing in different litchi cultivars (*Litchi chinensis* Sonn.). Plant Sci. 241: 128-137.

Ding, F., Zhang, S., Chen, H., Peng, H., Lu, J., He, X., and Pan, J. 2018. Functional analysis of a homologue of the *FLORICAULA/LEAFY* gene in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) revealing its significance in early flowering process. Genes Genom. 40: 1259-1267.

Domir, S. C. and Foy, C. L. 1978. A study of ethylene and CO_2 evolution from ethephon in tobacco. Pestic. Biochem. Physiol. 9: 1-8.

Gui, Q., Wei, J., Wu, Z., Mo, X., Qing, H., Shi, Y., Guo, H., Sheng, J., Ding, F., and Zhang, S. 2025. Litchi LcAP1-1 and LcAP1-2 exhibit different roles in flowering time. Plants 14: 2697.

Hu, G., Feng, J., Xiang, X., Wang, J., Salojärvi, J., Liu, C., Wu, Z., Zhang, J., Liang, X., Jiang, Z., Liu, W., Ou, L., Li, J., Fan, G., Mai, Y., Chen, C., Zhang, X., Zheng, J., Zhang, Y., Peng, H., Yao, L., Wai., C. M., Luo, X., Fu, J., Tang, H., Lan, T., Lai, B., Sun, J., Wei, Y., Li, H., Chang, J., Huang, X., Yan, Q., Liu, X., McHale, L. K., Rolling, W., Guyot, R., Sankoff, D., Zheng, C., Albert, V. A., Ming, R., Chen, H., Xia, R., and Li, J. 2022. Two divergent haplotypes from a highly heterozygous lychee genome suggest independent domestication events for early and late-maturing cultivars. Nat. Genet. 54: 73-83.

Hu, J., Kim, H. J., Chen, H., and Zhou, B. 2018. Litchi flowering is regulated by expression of short vegetative phase genes. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 143: 101-109.

Huang, X. M. and Chen, H. B. 2014. Studies on shoot, flower and fruit development in litchi and strategies for improved litchi production. Acta Hort. 1029: 127-136.

Huang, X., Liu, H., Wu, F., Wei, W., Zeng, Z., Xu, J., Chen, C., Hao, Y., Xia, R., and Liu, Y. 2024. Diversification of *FT*-like genes in the PEBP family contributes to the variation of flowering traits in Sapindaceae species. Mol. Hortic. 4: 28.

Ma, M. M., Zhang, H. F., Tian, Q., Wang, H. C., Zhang, F. Y., Tian, X., Zeng, R. F., and Huang, X. M. 2024. MIKC type MADS-box transcription factor LcSVP2 is involved in dormancy regulation of the terminal buds in evergreen perennial litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). Hortic. Res. 11: uhae150.

Mustard, M. J. and Lynch, S. J. 1959. Notes on lychee panicle development. Proc. Fla. State Hort. Soc. 72: 324-327.

Nakata, S., and Watanabe, Y. 1966. Effects of photoperiod and night temperature on the flowering of *Litchi chinensis*. Bot. Gaz. 127: 146-152.

O'Hare, T. J. 2002. Interaction of temperature and vegetative flush maturity influences shoot structure and development of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). Sci. Hortic. 95: 203-211.

Pan, X., Lu, X., Huang, L., Hu, Z., Zhuo, M., Ji, Y., Lin, B., Luo, J., Lü, P., Zhou, B., and Zhou, B. 2025. Histone modification H3K27me3 is essential during chilling-induced flowering in Litchi chinensis. Plant

Physiol. 197: kiae619.
Papademetriou, M. K. and Dent, F. J. (Eds.). 2002. *Lychee production in the Asia-Pacific region*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific.
Pin, P. A., and Nilsson, O. 2012. The multifaceted roles of FLOWERING LOCUS T in plant development. Plant Cell Environ. 35: 1742-1755.
Shi, Y., Zhang, S., Gui, Q., Qing, H., Li, M., Yi, C., Guo, H., Chen, H., Xu, J., and Ding, F. 2024. The *SOC1* gene plays an important role in regulating litchi flowering time. Genomics, 116(2), 110804.
Su, Z., Liu, L., Li, Y., and Chen, H. 2023. Predicting flower induction of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) with machine learning techniques. Comput. Electron. Agric. 205: 107572.
Tian, X., Zhong, Z. Q., Qi, Y., Ma, M. M., Yang, M. C., Li, D. C., Zhang, F. Y., Wang, H. C., Shen, J. Y., Zeng, R. F., and Huang, X. M. 2025. Two aquaporins, LcPIP1; 4 and LcPIP1; 4a, cooperatively regulate the onset of dormancy of the terminal buds in evergreen perennial litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). Hortic. Res. 12: uhaf122.
Xie, X., Zhang, H., Kong, Z., Qian, D., Liu, X., Zhao, M., and Li, J. 2025. Cytokinin response factor LcARR11 promotes floral bud physiological differentiation by activating *LcIPT3* and *LcFT1* in litchi. Hortic. Res. 12: uhaf218.
Ying, Z. and T.L. Davenport. 2004. Leaves required for floral induction of lychee. Plant Growth Regulat. Soc. Am. 32:132-137.
Zhao, L., Wang, K., Wang, K., Zhu, J., and Hu, Z. 2020. Nutrient components, health benefits, and safety of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.): A review. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 19: 2139-2163

Unlocking the flowering mechanisms of litchi

JenYu Chang[1,*] and Ting-Wei Chiu[2]

[1] Associate Researcher, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture; jychang@tari.gov.tw
[2] Assistant Researcher, Floral Industry Innovation Center, Ministry of Agriculture; twchiu@fiic.gov.tw
* Correspondence: jychang@tari.gov.tw

Abstract

Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) is a subtropical fruit tree whose flowering is typically regulated by low temperature, and the domestication history and the emergence of cultivars with different maturity types reflect a close association between genetic background and environmental adaptation. Previous studies have shown that litchi flowering depends on cool winter temperatures and that both shoot maturation and chill accumulation jointly determine successful panicle formation. At the molecular level, *LcFT1* expressed in mature leaves is a key factor in low-temperature-induced floral transition, and variation in its promoter sequence, together with repression by *LcSVP9*, helps explain cultivar differences in chilling sensitivity. *LcFT1* further promotes floral transition in the shoot apex through *LcSOC1*, *LcLFY*, and *LcAP1-2*, whereas bud dormancy is maintained by a dehydration-related regulatory module involving *LcSVP2* and *LcSMOS1*. Plant hormones are also involved: abscisic acid and ethylene participate in bud dormancy regulation, while cytokinins promote floral bud differentiation and influence alternate bearing in litchi. Finally, studies using machine learning and the duration of flower induction indicate that temperature remains the central environmental factor governing litchi flowering, and that the resulting temperature accumulation models and simulations provide an important basis for assessing climate change impacts and orchard management decisions.

Keywords: chilling requirement, *LcFT1*, floral induction, plant hormone, plant growth regulator

氣候變遷下荔枝穩產及調適作爲
-以恆春地區栽培模式爲例

林子文[1,*]、朱堉君[1]、李雪如[1]、陳泰安[2]、林宗賢[3]
1 農業部高雄區農業改良場
2 凌聚農業科技股份有限公司
3 國立臺灣大學園藝暨景觀學系
*聯繫人 e-mail: tzuwen@mail.kdais.gov.tw

先前藉由高雄大樹‘玉荷包’荔枝產區最近 20 餘年開花涼溫需求量研究，研議每小時等於與低於 20℃氣溫的閾值爲 1,800 DH。地處更南端的恆春產區具有早熟、高利潤優勢，但開花所需涼溫累積量不足，隔年開花嚴重。不過，陳氏農友採用系統整合栽培技術，能連續五年穩定開花著果，顯示該栽培體系可取代 1,300-1,400 DH 涼溫需求量。爰驗證於相關研究報告後，提出一套系統整合的穩定開花與著果之栽培模式，冀供推廣應用。其要點爲：一、採果後盡速修剪培養枝梢，確保在 10 月前培養 3 次以上健壯營養梢，累積充足碳源作爲花序發育基礎。二、精準控梢，透過枝幹環剝與益收 (Ethephon)搭配高磷鉀肥料，嚴格抑制冬梢萌發。針對休眠與抽梢階段調整不同藥劑濃度，使植株維持深度靜止(quiescent)狀態藉以感受涼溫。三、環境逆境營造：進入控梢期後落實斷水與加強排水，透過營造乾旱環境，促使芽體轉向生殖生長。四、結實管理優化：應用疏花技術，加強蜜蜂授粉，減少養分耗損並提升著果率。總之，透過適時修剪、精準控梢、水分管理整合技術，可克服環境涼溫不足限制。未來持續探究恆春特有地理因素（如：落山風）對樹體生理之影響，並優化授粉技術，以建立更強韌的氣候變遷調適生產模式。

關鍵字：荔枝、氣候變遷、穩產技術

引言

荔枝(*Litchi chinensis*)爲國內重要經濟常綠果樹，根據農業統計年報，2024 年國內荔枝種植面積約爲 9,534 公頃，年產量爲 45,137 公噸，其中高雄市及屏東縣栽培面積共計 3,507 公頃，占全國 36.7%(農業統計年報，2025)。‘玉荷包’ 具早熟、果肉率高特性且風味佳，深受消費者喜愛，因此逐漸取代黑葉，成爲目前高屏地區主要栽培品種（鄧，2002)。‘玉荷包’在發展初期曾面臨開花與著果不穩等問題(朱等，2021；Chang et al.,2009)，後續透過培養植株結果枝達 3 次梢，以充足葉片量作爲碳源，供應花序及小花發育(Chang and Lin, 2008)，並配合適當的疏花序技術(李，2007；張和林，2003)，減少養分耗損、促進著果等管理技術，使‘玉荷包’生產漸趨穩定。然而，受全球氣候變化影響，秋冬季常有涼溫不足、降雨導致荔枝抽梢，或秋颱入侵使結果枝折損影響開花；此外開花期的涼溫或霪雨亦致使大量落果而減產。各種氣候風險提高，對荔枝生產及產業發展造成一定的衝擊。

屏東縣恆春鎮是臺灣最南端的荔枝產區，其栽培面積僅約 160 公頃，但在產業上極具特殊性。恆春的荔枝產業起源於 1990 年左右，當時農業試驗單位評估早生種‘玉荷包’荔枝適種地區期間，發現恆春氣候與土宜適合其生產，且生育期較早，遂進行推廣栽培，後續逐漸形成產業(鄧，1994)。一般國人所熟知‘玉荷包’產區，集中在高雄市大樹、旗山地區，但地處臺灣最南端的恆春鎮，春季氣溫偏高有助於加速果實發育，使產期略早於大樹區，每年約 5 月第二週上市，此時適逢母親節送禮需求，銷售價格上具優勢，且因採收期與大樹地區錯開，可分散產期集中壓力。

恆春近年來荔枝依舊維持一定產能（圖 1)，但當地玉荷包荔枝開花所需的涼溫量顯然已無法滿足，出現嚴重隔年開花結果現象，隨著氣候暖化與極端氣候頻繁發生，不開花或隔年開花結果將愈嚴重，本團隊因而探訪搜集先進農友成功栽培技術，並徵諸於荔枝開花相關文獻，進而擬定一套系統整合的豐產、穩產玉荷包荔枝生產管理模式，冀供推廣應用。

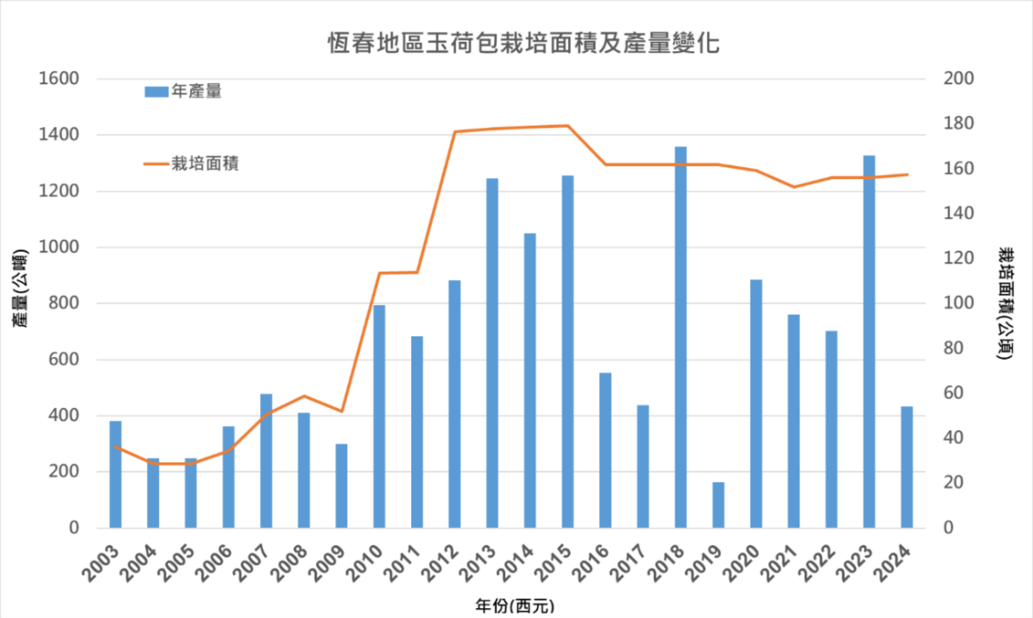

圖 1. 恆春鎮近 20 年栽培面積及產量變化(恆春鎮統計年報，2025)

荔枝開花及結實生理

1. 枝梢生長習性與花序萌發

荔枝枝梢生長為間歇性抽梢(flush cycle)，意即芽體萌出發育形成枝梢後，至下一次抽梢前會有一段停滯期，過程中枝梢會由幼嫩轉為老熟，以外觀判斷，多數荔枝品種剛萌出嫩葉為磚紅色，隨著葉片進入成熟，葉色自嫩綠、翠綠逐漸轉為濃綠(Fu et al., 2014)。每梢段從萌發出到成熟時間約 30 至 45 天(張等，2014)，成熟枝條頂端芽體秋、冬季為靜止(quiescent)狀態，芽體頂端分生組織受涼溫刺激後，發育同時具有葉原基與花序原基混和狀態的花序原體(Batten and Mcconchie, 1995)，後再因氣溫條件不同，產生葉片發育程度不一的花序。

2. 影響荔枝開花成因

荔枝為亞熱帶果樹，決定荔枝花芽分化與發育的成因複雜，不僅由單一因子控制。花芽分化過程與花序發育的程度對溫度敏感(Stern and Gazit, 2003)，開花前期需累積一定涼溫量，搭配乾燥環境才能使成熟枝條末端芽體由營養生長轉為生殖生長，且涼溫及乾旱兩環境因子須同時存在，僅滿足單一條件並無法促進荔枝開花(張等，1997)。在適當涼溫誘導下，會發育為純花序，發育過程中如遇偶發性暖溫，則使花序上的小葉部分發育，形成帶有宿存小葉的帶葉花序，而當涼溫量累積不足時，則發育成為營養梢(O’Hare, 2002；Davenport and Stern, 2005)。

而‘玉荷包’荔枝在具備一定成熟枝條及葉片，經過日/夜溫 20/15℃下 4 週，且乾旱環境下，可刺激頂端分生組織分化轉為花芽，進而開花(張，1999；Shen et al., 2016)。本團隊過去曾針對‘玉荷包’荔枝建立涼溫累積模式預測開花可行性，評估涼溫累積量與開花與否的關係，參考其開花條件(涼溫 20℃)(沈，1992)，建立涼溫閾值為 1,800 DH(李等，2022)，而恆春地區涼溫累積遠低於此參數，除了 2020-2021 年度累積約 1,100 DH 外，其後每年都低於 700 DH （李等，2024），顯然無法正常開花，經實地查訪，諸多果園已經無法年年穩定開花，呈現隔年開花與結果特徵，農民苦於低產，甚或有放棄管理者。但有精進果農如陳恆松先生，卻仍能在最近連續 5 年每年穩定開花著果，且單位面積產量約為 7-12 公噸/公頃。對於恆春涼溫不足環境下，如何確保穩定開花？而當地陳恆松農友究竟是如何善用栽培技術確保荔枝穩定年年開花？其穩定開花機制又如何？均殊值探討。因此，我們參訪搜集陳先生實際應用的栽培管理技術，並對照高雄大樹產區尤惠璋先生管理模式，並徵諸於相關研究報告，匯整成為系統整合型荔枝穩定開花栽培模式供參。

影響花序發育與否另一重要因素是枝梢的成熟度(Malhotra et al., 2018)，如何掌握進入花芽分化前最後一次枝梢成熟度，使植株處於最適合接受涼溫刺激的狀態，是荔枝開花的關鍵(張等，2014；李與林，2024)，除調整修剪時間外，農民會薄施益收(ethephon)及高磷鉀肥料促進枝條及葉片的成熟。

枝幹環狀剝皮(環刻)亦為促進荔枝開花技術之一，其改變樹體內之養份與水份之運移與分配，使樹體養份重新分配，限制光合產物集中於地上部，並部分造成短時間的水分逆境，但其促進開花效果受品種、當地環境氣候等因素而異(曾等，2005；Nakata, 1953；Nakata, 1956)。張與鄭(2001)亦指出，環刻對荔枝開花的影響依修剪程度、枝條成熟度而有差異，在不利開花的環境條件下效果才會適當顯現。

3. 植物生長調節劑對荔枝促花的應用

荔枝花芽形成前 30 日至花芽形成時木質部內激勃素(gibberellin)含量下降及細胞分裂素(cytokinin)含量上升，但無法透過外源施用 kinetin 誘導花芽提前分化(Chen, 1991；邱與張，2021)。乙烯(ethylene)是調控荔枝開花的重要荷爾蒙，控梢期間施用益收可有效抑制新梢萌發及提升開花率（陳，1994)，主要透過其經代謝後釋放的乙烯成分，在生理與分子層面上，對荔枝休眠及開花進行調節，去除新梢可使頂芽恢復及延長靜止狀態，增加接受外界涼溫環境誘導的機會(Cronje et al., 2022)，並使樹體持續蓄積碳源(Cronje, 2023)。休眠中的枝條經乙烯處理後，頂端芽體中乙烯信號傳導基因 LcEIN3 以及開花阻遏基因 LcFLC 和 LcSVP2 會短暫大量表現，LcFLC 的表現與維持芽體休眠、防止過早抽穗有關(Cronje et al., 2022)。

綜上所述，益收在栽培管理應用上具正面效果，惟其在荔枝產業栽培應用上，國內目前尚未核准使用，仍待政策面進一步開放核准。

4. 荔枝結實習性

荔枝的花序由許多小花構成，因花器發育不同分為雄花(male)、偏雌花(hermaphrodite function as female)及偏雄花(hermaphrodite function as male)三種(李，1992)。而‘玉荷包’荔枝花序龐大，小花發育與果實生長需消耗大量養分(Jiang et al., 2012；Roe et al., 1997)，因此過去曾面臨開花順利但未著果情形，後透過疏花序技術，改善養分分配，提升初期著果率(李，2007；張和林，2002)，但果實生長過程中，約於偏雌花開放後 3 週，會再經歷幾次生理落果，其成因可能因養分重新分配(Roe et al., 1997)、授粉不全(黃與翁，1973)、外界環境因子劇烈變化造成。坊間農民會在開花後期使用番茄美素(tomatolane；cloxyfonac-sodium)、奈乙酸鈉(SNA)或 2,4-D(2,4-二氯苯氧乙酸)等植物生長調節劑促進著果，惟因上述藥劑施用濃度極低，誤用易導致花穗畸形，且奈乙酸鈉及 2,4-D 二者目前尚未核准開放使用，需謹慎評估。在提升初期著果數及降低生理落果，仍應回歸栽培技術，透過栽培技術調節花期、適當疏除花序、應用蜜蜂授粉等。

恆春地區玉荷包栽培條件與管理模式

1. 氣候條件

恆春鎮近 20 年(2004-2023 年)均溫約為 25.5℃上下，控梢期間(10 月至翌年 1 月)，月均溫為 21.0 ℃至 26.4 ℃，而大樹區年均溫 24.9，控梢期間為 18.5 ℃至 25.5℃(中央氣象署，2024)(圖 2)，若以 1,800 DH 閾值為準，大樹產區 2021-2022 年超過該閾值，但恆春近年來都未滿足（圖 3)，農民遭遇無法年年穩定開花的困擾，如再面臨暖冬或冬季降雨，易使荔枝萌出新梢，影響開花，因此管理上，需更加精準及嚴謹，才能達到穩定生產的可能性。

2. 栽培管理模式

整理恆春地區栽培生長週期(圖 5)，當地每年約於 5 月上至中旬完成採收後修剪，於 5 月中至下旬前完成修剪作業，在營養生長期至少培養 3 次營養梢段(flush)(部分高溫條件下，可培養至第 4 次梢)。最後一次梢最遲於 9 月萌發，於 10 月下旬前成熟有利於後

續控梢。若枝條成熟度不足，可葉面噴施低濃度益收(稀釋 3,000 倍)及磷鉀肥(稀釋 500 倍)，促進枝條及葉片成熟，隨後進行秋、冬季控梢作業。在最後一次梢即將成熟時(約爲 9 月底至 10 月上旬)進行環刻，減緩新梢萌發。控梢期間隨時留意頂端生長點是否抽梢，如頂芽萌出，則以人工摘除或噴施 1,200 至 1,500 倍益收生長素搭配高磷鉀肥 400 至 500 倍去除嫩葉。當地亦有農民針對尚未萌出新梢枝條，固定約每 10 日噴施 1 次益收、磷鉀等不同組合及濃度，嚴格控制營養生長。植株於 1 月中旬可見枝梢末段出現小白點(一般認爲肉眼可視的小花穗與小花分化期)，隨後抽出花穗，進而開花。

部分年份冬季涼溫持續時間及強度不一，容易形成帶葉花序，農民會視情形以人工或化學方式去除部分新葉，促進花序發育。在控梢期間因施用較多磷鉀類肥料，導致植物體中氮素比例低，葉片顏色易偏黃，在確認花序發育形成後，可略薄施低氮高磷鉀配方肥料，補充樹體氮元素。

每年 3 至 5 月爲果實生育期間，恆春地區月均溫略高於大樹區 1-2℃(圖 2)，暖溫有助於果實發育及成熟，因此 5 月上至中旬，即可開始陸續採收，提前大樹地區約 7-10 日(鄧，1994)。不過以近 7 年(2019-2025 年)月降雨量資料顯示，果實發育期間，恆春地區降雨量略低於大樹地區(圖 4)，爲確保果實順利發育，此時應留意土壤水分，適當灌溉，提供充足水分以利果實發育。近年實際調查恆春當地標定果園開花率，執行良好管理者開花率爲 7 成以上，如未落實秋冬季控梢者則隔年結果情形嚴重，且部分農友當年如未順利開花，會放任植株生長不進行修剪，而翌年往往因枝葉量多、碳源蓄積充足，使開花率提升，在結果採收後進行再行高強度修剪，使得隔年開花現象更加嚴重(未發表資料)。

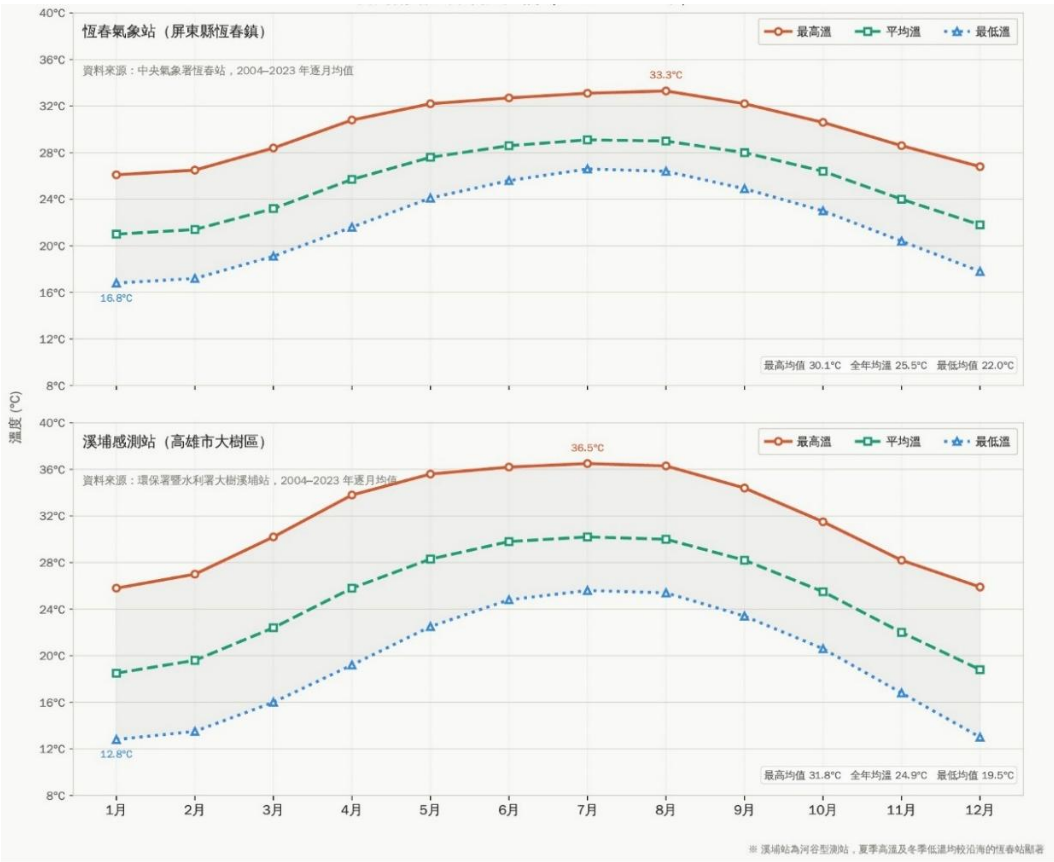

圖 2. 大樹區及恆春鎭近 20 年(2004-2023)每月平均溫度

大樹地區在進入荔枝開花期前，會於果園放置蜂箱，引進蜜蜂授粉，促進著果。恆春地區非蜂農採蜜的路線，又每年冬季至初春受落山風吹拂，因此大部分荔枝果園無放

置商業用蜂箱。但面對劇烈氣候變化，引入蜜蜂授粉提升初期著果數，在經歷生理落果後，保有一定果實數的機會較高(Matangi Mishra, 2019)。放蜂技術的導入，或可做爲因應氣候不穩的調適技術，其效果本場研究團隊目前進行相關試驗評估。

恆春相較大樹地區涼溫累積量偏低，透過積極的控梢管理模式，‘玉荷包’仍有機會穩定生產，是否有其他因子影響?如：當地落山風吹拂、半島地形的氣候、土壤與其他環境等，使樹體面臨類逆境反應，諸多影響因子或其交感作用尚待釐清。

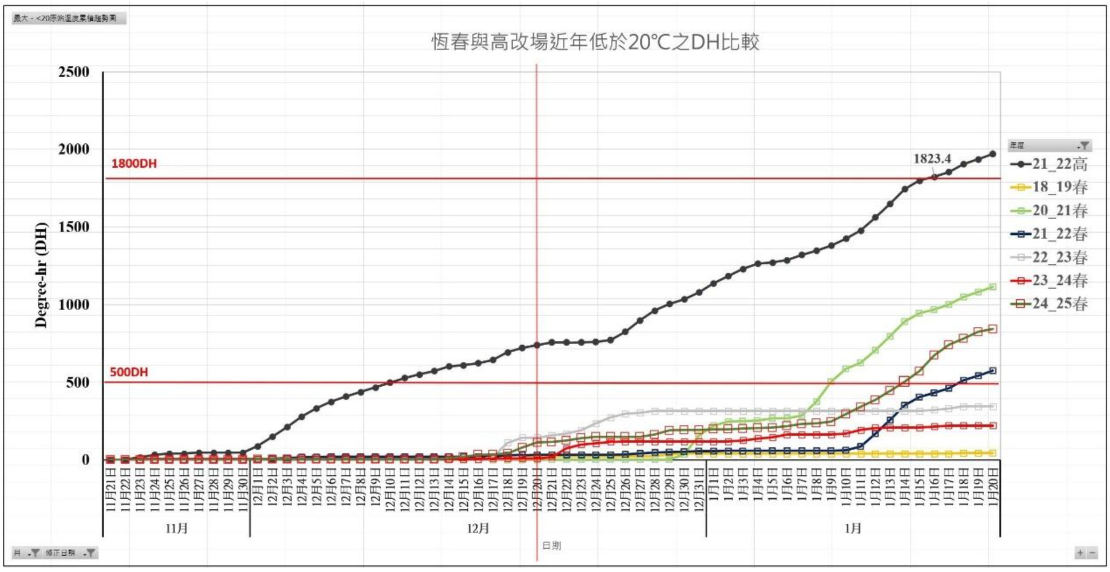

圖 3.恆春鎮近 6 年靜止期涼溫(<20°C)閾值累積量之比較

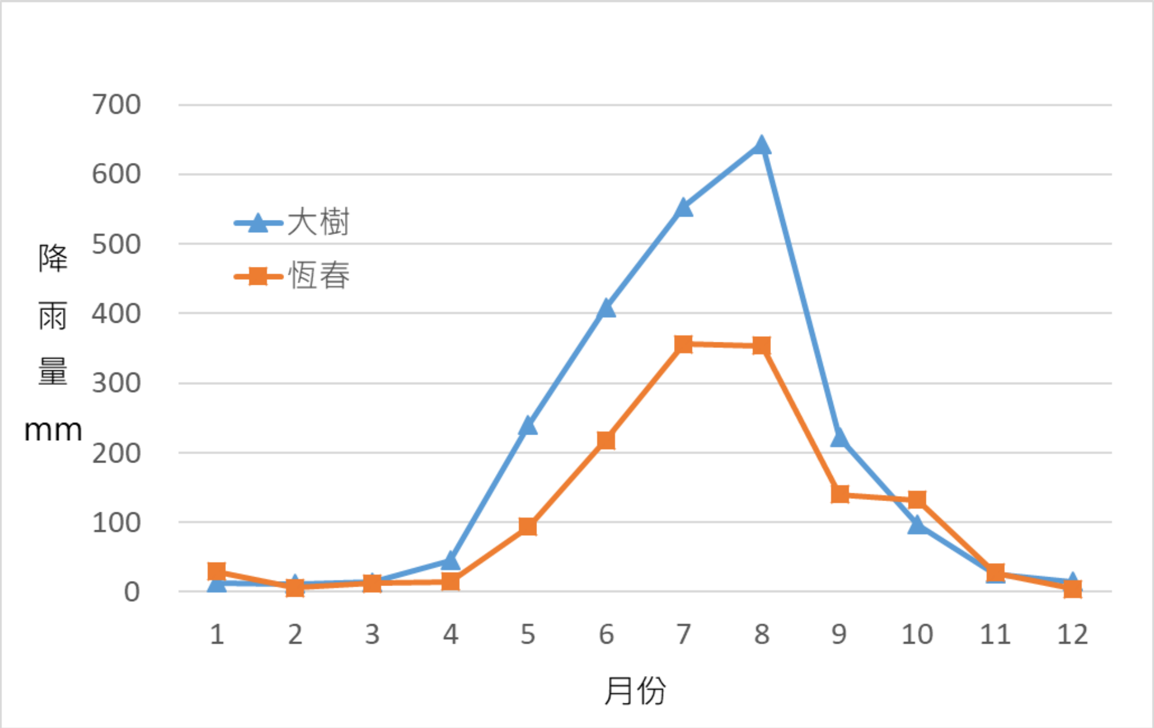

圖 4. 大樹區及恆春鎮近 7 年(2019-2025)月降雨量

因應氣候變遷下穩定荔枝開花策略

近年來受全球氣候變遷暖化，臺灣秋、冬季平均溫度已相較過去高，涼溫時間越來

越短，甚至未有涼溫出現，勢必對果樹生產上造成一定影響(張和王，2008)。為穩定荔枝生產，了解其生育物候期有其必要性，透過生育期律定(Wei et al., 2013)與環境因子間的變化，或可歸納出決定荔枝開花與否更多線索與資訊。近年藉由深入調查歸納出不開花成因(圖 6)，並藉由恆春與大樹地區篤實農友之穩產栽培模式，提出相關穩定荔枝生產管理建議(圖 7):

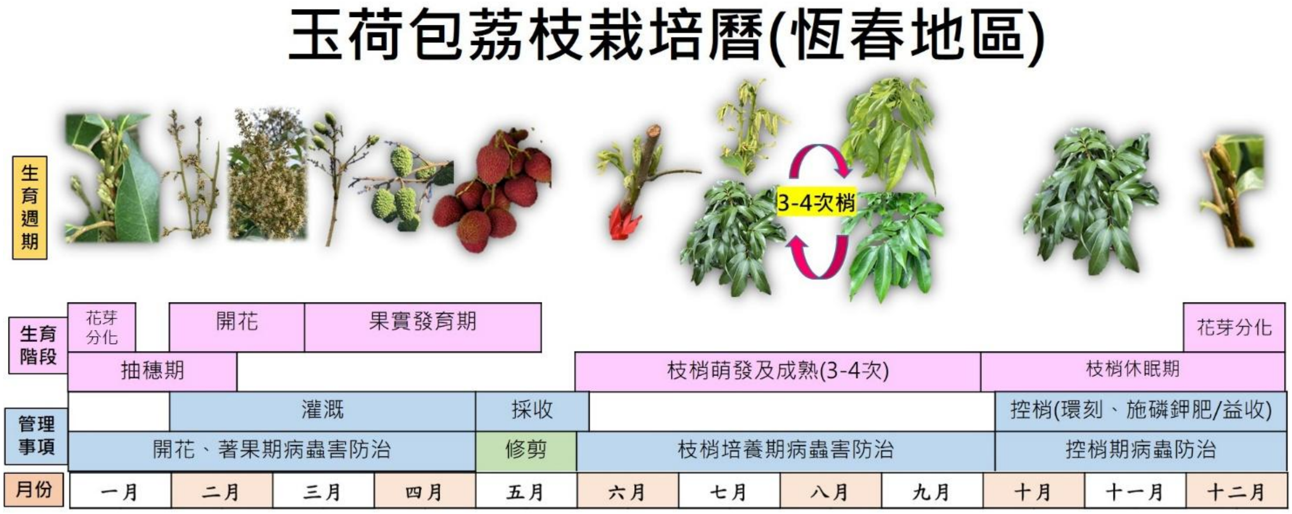

圖 5. 恆春地區玉荷包栽培曆

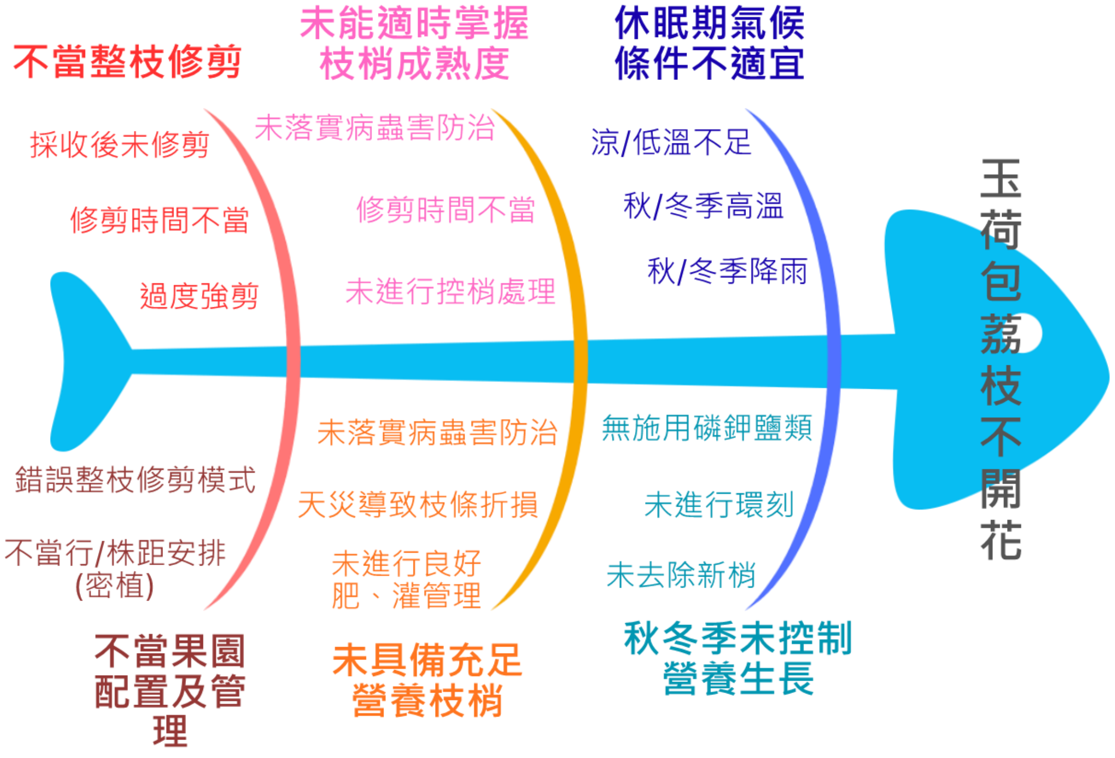

圖 6. 玉荷包荔枝不開花成因魚骨圖

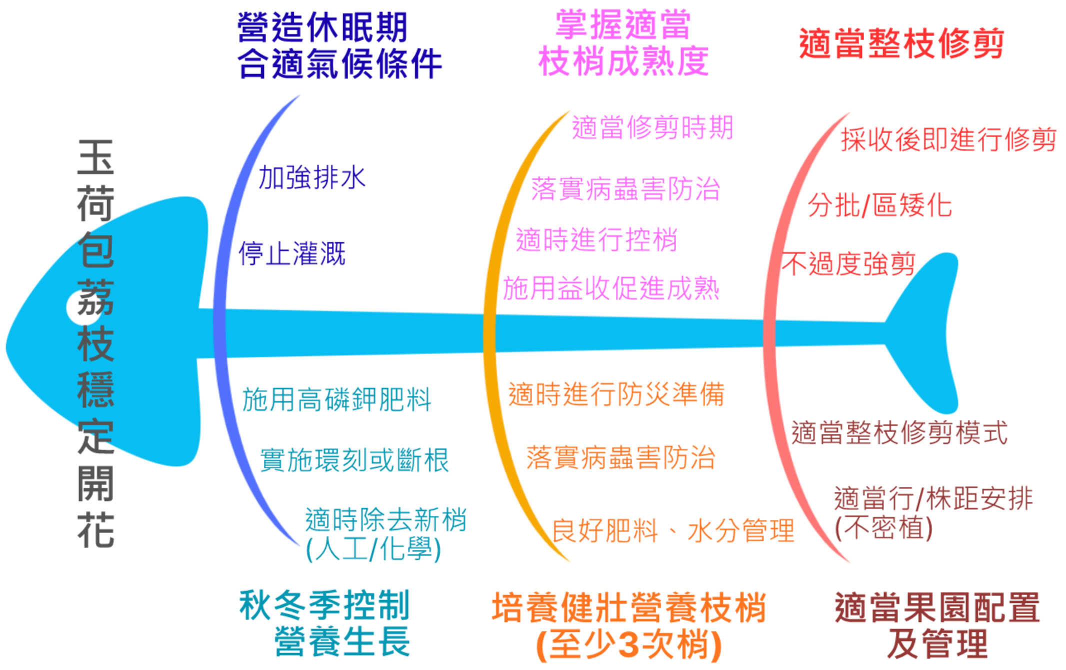

圖 7. 玉荷包荔枝穩定開花策略魚骨圖

1. 適當果園配置

果園規劃時，配置適當行株距，不密植，有助於增加通風及日照，便於栽培管理；並能提供足夠空間培養營養枝梢及葉片，使植株蓄積足夠碳源。

2. 適當的整枝修剪

修剪時期與程度，影響後續枝梢管理，因此修剪應避免強剪，如當年度順利開花著果，採收後盡早修剪；當年度若未順利開花，則可略早於產季前一個月進行修剪，多培養一次梢段，蓄積足夠碳源，更有利秋、冬季控梢。

3. 培養健壯營養枝條及葉片

培養健壯葉片及枝條是開花及生產良好果品的基礎。培養枝條期間，配合施肥、灌溉及病蟲害管理措施，確保枝條具備足夠葉片以利後續開花。另外，臺灣在夏、秋之際，偶有颱風侵襲，颱風來臨前，可進行支架固定、架設防風網防災措施，如遇嚴重災損，可適度修整植株，保留枝梢及樹體的完整性。

4. 掌握枝梢成熟度

枝條成熟度與荔枝花芽分化有密切關係。修剪時期及修剪程度將影響枝梢生長時間，並決定枝梢成熟的時間點，修剪後枝梢也須妥善防治管理，如受病蟲危害將使該批梢次受損，待下一批次新梢萌發時，會延後枝梢成熟時間。當枝條成熟度略趕不及涼溫來臨時，可薄施益收(3,000-6,000 倍)搭配磷鉀肥，促進葉片成熟達到具備感受涼溫開花的條件。

5. 秋冬季控制營養生長

秋冬季應落實控梢，在最後一次梢段成熟時，進行枝幹環剝或地下部分斷根，抑制養分輸送；枝條則以益收及磷鉀肥抑制，透過不同濃度調整，如萌發新梢以稀釋 1,200-1,500 倍益收搭配 500 倍磷鉀；休眠中的枝梢則以稀釋 3,000-6,000 倍益收搭配 500 倍磷鉀處理，預防抽梢影響開花。

6. 營造靜止期合適環境條件

涼溫及乾旱條件是促使荔枝開花的環境因子，二者缺一不可。涼溫條件透過人爲改變幅度有限，但果園管理上，進入控梢期後，應停止灌溉，加強排水，如地面有落葉覆蓋也可扒開，加速水分蒸發，降低土壤水分含量，營造土壤乾燥環境。

結語

全球氣候變遷影響果樹產業甚鉅，臺灣荔枝產業尤爲明顯，因其開花前誘導條件須滿足涼溫及乾旱，在涼溫不足、冬季降雨等極端氣候條件，往往造成荔枝無法順利開花，影響農民收益。恆春位於臺灣南隅，先進農友在不利開花的氣候情況下，仍能穩定生產，顯示掌握關鍵栽培技術，培養健全足夠枝梢及葉片數量，落實秋、冬季控梢管理，仍有機會達到每年穩定生產之目標。以此恆春穩產模式前例，可推廣應用爲國內其他地區之參考，並使荔枝產業更具競爭力及調適韌性。

參考文獻

行政院農業部。2025。農業統計年報
恆春鎮統計年報。2025。https://www.pthg.gov.tw/townhengchuen/News.aspx?n=1D39C3B545933D5A&sms=4E504D8E7FBCBA9E
黃弼臣、翁愼微。1973。荔枝授粉初步試驗。中國園藝。19(4):230-233
李國譚。1992。荔枝花藥與花粉型態及花粉生體外發芽特性之研究。國立臺灣大學園藝學研究所碩士論文
沈素美。1992。溫度、葉片、乙烯和光線對荔枝花穗形成之影響。國立臺灣大學園藝學研究所碩士論文。66 頁
鄧永興。1994。玉荷包荔枝栽培試驗。臺灣果樹栽培技術及應用研究研討會專集。P.93-97
陳溪潭。1994。荔枝枝梢生長與花穗形成之探討。臺南區農業改良場研究彙報。31:23-24
張哲瑋、趙政男、陳右人、鄭正勇。1997。溫度及乾旱對荔枝開花的影響。中國園藝。43(4):322-329
張哲瑋。1999。荔枝開花之調控。國立臺灣大學園藝研究所博士論文
張哲瑋、鄭正勇。2001。修剪及環剝對荔枝開花的影響。中國園藝。47(3):245-258
鄧永興。2002。加入 WTO 後臺灣荔枝產業的調整方向。農業世界。225:10-14
張哲嘉、林宗賢。2003。疏花序對玉荷包荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)花性、著果與果實品質間的影響。中華農學會報。4(5):418-428
曾玉霞、張祖亮、陳右人。2005。環刻對荔枝花芽分化的影響。中國園藝。51(2):155-164
李雪如。2007。玉荷包荔枝疏花對著果及果實品質之影響。臺灣園藝。53(4):518-519(摘要)
張致盛、王念慈。2008。全球暖化趨勢對臺灣果樹生產之影響。作物、環境與生物資訊。5(3):196-203
張仁育、張宇安、方明義、林美莉、張哲瑋。2014。評估荔枝翌年開花所需當年生枝條末段梢成熟枝邊際時間點。臺灣園藝。60(1):27-39
朱堉君、李昱錡、陳祈男、張哲嘉。2021。高溫逆境衝擊紅龍果與荔枝生殖生長的評估、應用及芻議。中部果樹產業因應氣候變遷之調適與策略發展研討會論文輯。P.55-71
邱仕寬、張哲嘉。2021。溫度、枝梢成熟度與內生荷爾蒙對荔枝花芽形成與花序發育之影響。興大園

藝。46(4)29-37
李雪如、陳泰安、林宗賢。2022。以低溫累積模型評估屏東恆春之荔枝開花成敗。臺灣園藝。68:46-47(摘要)
李雪如、朱堉君、林子文。2024。玉荷包荔枝關鍵開花因子驗證。農業部高雄區農業改良場 112 年度年報。P.26
李雪如、林子文。2024。掌握枝梢成熟度減緩暖冬對玉荷包荔枝開花的影響。高雄區農業專訊。130:p.6-8
Batten, Dj and Cameron Mcconchie. 1995. Floral Induction in Growing Buds of Lychee (*Litchi chinensis*) and Mango (*Mangifera indica*). Australian Journal of Plant Physiology 22:783-791
Chen, W.S. 1991. Changes in cytokinins before and during early flower bud differentiation in lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). Plant Physiology. 96, p.1203-1206
Chang, J.C., T.S. Lin, C.R. Yen, J.W. Chang, and W.L. Lee. 2009. Litchi production and improvement in Taiwan. J. Agr. Assoc. Taiwan 10(1):63-76
Chang, J.C., T.S. Lin. 2008. Fruit yield and quality as related to flushes of bearing shoots in litchi. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 133(2):284-289
Cronje, R. B., Hajari, E., Jonker, A., Ratlapane, I. M., Huang, X., Theron, K. I., and Hoffman, E. W. 2022. Foliar application of ethephon induces bud dormancy and affects gene expression of dormancy- and flowering-related genes in 'Mauritius' litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). Journal of plant physiology, 276, 153768
Cronje, R. B. 2023. Physiological and molecular mechanisms underlying shoot manipulation strategies with the plant growth regulator ethephon for the improvement of flowering in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) cv. 'Mauritius'. Stellenbosch University, PhD dissertation
Davenport, T. L. and A. Stern. 2005. Flowering. (In) Litchi and Longan, Botany, Production and Uses. pp 87–113
Fu,X.Y., W. P. Mo, J. Y. Zhang, L. Y. Zhou, H. C. Wang, X. M. Huang. 2014. Shoot growth pattern and quantifying flush maturity with SPAD value in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). Scientia Hort. 174:29-35
Jiang, S. Y., H.Y.Xu, H.C. Wang, G. B. Hu, J.G. Li, H.B. Chen, and X. M. Huang. 2012. A comparison of the costs of flowering in'Feizixiao'and 'Baitangying' litchi. Scitia Hort. 148:118-125
Malhotra, S. K., S. K. Singh, and V. Nath. 2018. Physiology of flowering in litchi (*Litchi chinensis*): A review. Indian Journal of Agricultural Sciences 88 (9):1319–1330
Matangi Mishra, M. M. 2019. Effect of bee pollination on litchi crop. Environment and Ecology. 37: 1180–1182
Nakata, S. 1953. Girdling as a means of inducing flower-bud initiation in litchi. Hawaii Agricultural Experimental Station Progress Note. 95,1-4
Nakata, S. 1956. Lychee flowering and girdling. Hawaii Farm Science. 4, 4-5
O'Hare, T. J. 2002. Interaction of temperature and vegetative flush maturity influences shoot structure and development of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). Scientia Hort. 95(3):203-211
Roe, D. J., C. M. Menzel, J. H. Oosthuizen, and V. J.Doogan. 1997. Effect of current CO2 assimilation and reserves on lychee fruit growth. J. Hort. Sci. Biotechnol. 72(3):397-405
Shen, J.,Q. Xiao, H. Qiu, C. Chen, and H. Chen. 2016. Integrative effect of drought and low temperature on litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) floral initiation revealed by dynamic genome-wide transcriptome analysis. Scientific Rpt. 6(1):32005
Stern, R.A. and S. Gazit. 2003. The reproductive biology of the lychee. Hort Rev. 28:393-453
Wei,Y.Z., H.N. Zhang, W.C. Li, J.H. Xie, Y.C. Wang, L.Q. Liu, S.Y. Shi. 2013. Phenological growth stages of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) using the extended BBCH-scale. Sci. Hort. 161:273-277

Stable Production and Adaptation Strategies for Litchi under Climate Change: A Case Study of Cultivation Patterns in the Heng-chun Region

Tzu-Wen Lin[1,*], Sheue-Ru Lee[1], Yu-Jun Chu[1], Tai-An Chen[2] and Tzong-Shyan Lin[3]

1 Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station, Ministry of Agriculture
2 Link Join Agricultural Technology Co., Ltd.
3 Dept. of Horticulture and Landscape Architecture, National Taiwan University
* Correspondence: tzuwen@mail.kdais.gov.tw

Abstract

Recent research on the 'Yu Her Pau' litchi production area in Da-shu District, Kaohsiung, over the past 20 years suggests a cool requirement threshold of 1,800 Degree Hours (DH) below 20°C for flowering. The Heng-chun production area, situated further south, possesses the advantages of early maturity and high profitability; however, it faces insufficient cool accumulation, leading to severe biennial bearing (irregular flowering). Notably, farmer Mr. Chen has achieved stable flowering and fruit set for five consecutive years by implementing a systematic integrated cultivation technology, demonstrating that this cultivation patterns can compensate for a deficit of 1,300–1,400 DH in cool requirements. Following validation against relevant research reports, a systematic integrated cultivation model for stable flowering and fruiting is proposed for extension. The key points are as pruning after harvest and Shoot Development: Conduct pruning immediately after harvest to ensure the cultivation of more than three batch healthy vegetative flushes before October, thereby accumulating sufficient carbon sources as the foundation for inflorescence development. Precision Shoot Control: Utilize trunk girdling combined with Ethephon and apply fertilizers of high phosphorus and potassium content to strictly inhibit the emergence of winter shoots. Adjust chemical concentrations according to the dormancy and budding stages to maintain the trees in a state of deep quiescence, enhancing their sensitivity to available cool temperatures. Environmental Stress Induction: Implement strict water deprivation and enhance drainage during the shoot control period. By creating a drought environment, the buds are encouraged to transition toward reproductive growth. Optimization of Fruiting Management: Apply flower thinning techniques and strengthen honeybee pollination to reduce nutrient depletion and improve the fruit set rate. In conclusion, through the integration of timely pruning, precision shoot control, and water management, the limitations imposed by

insufficient cool can be overcome. Future research will continue to explore the impact of Heng-chun’s unique geographic factors, such as the "Down-slope Wind" (Lushan Wind), on tree physiology and further optimize pollination techniques to establish a more resilient production model for climate change adaptation.

Keywords: Litchi, Climate Change, Stable Production Technology

由歷年產量議大樹區荔枝開花與著果之確保

李雪如[1]、陳泰安[2]、林子文[1]、林宗賢[3,*]

1 農業部高雄區農業改良場
2 凌聚農業科技股份有限公司
3 國立臺灣大學園藝暨景觀學系
*聯繫人 e-mail: tslin66@hotmail.com

本文試從氣候影響成花、授粉著果與果實生長之角度，回溯檢視高雄大樹產區‘玉荷包’荔枝從 1997 到 2025 年 28 個年度之產量變因，進而倡議荔枝豐產、穩產之道。每年從 11 月 21 日至翌年 1 月 20 日，毗鄰產區的高雄區農改場氣溫每小時等於或低於 20℃者予以加總，最後得到涼溫累積量。涼溫累積超過 1,800 DH 順利成花(ON)者計 19 個年度，占 68%。低於該閾值者計 9 個年度，但其中有 3 年度（1998-1999、2000-2001 和 2006-2007 年）尚能成花。在 22 個成花年度中，可順利著果，歸類爲大年(ON)者計 16 個年度，佔 28 年度之 57%，其餘 43%則歸屬小年(OFF)，因難成花或難著果導致。於重新檢視成花、開花授粉與著果影響之氣候因素後，倡議系統整合栽培技術，冀能確保成花、授粉、著果與果實順利生長。即採後盡速修剪、施肥和灌溉，促進新梢生長，恢復樹勢；隨後，控制肥水、環狀剝皮與疏刪等以培養健全、成熟枝梢；冬季一旦抽梢，迅即除新葉，藉以讓成熟葉片感受低溫而易成花。農友採用此技術後，大樹有確保年年成花者；僅約 400 DH 涼溫累積的恆春產區，亦能連續維持 5 年穩定開花著果，顯示該系統整合栽培技術可取代部分涼溫。開花授粉期間期待晴朗、溫暖天候，加強飼放蜜蜂授粉，促進著果；爾後，適當灌溉，促進果實生長。

關鍵字：涼溫累積、控梢、穩產技術

引言

高雄市大樹區爲臺灣荔枝主要產區之一，近年栽培面積約 2 千公頃。栽培品種早期以'黑葉'爲主，近年則以'玉荷包'爲首，占比超過八成。全臺之'玉荷包'荔枝產量，大樹約占七成。因此，我們試從氣候影響成花、授粉著果與果實生長之角度，回溯檢視高雄大樹產區玉荷包荔枝從 1997 到 2025 年 28 個年度之產量變因，進而倡議荔枝豐產、穩產之道。由於氣候變遷與全球暖化，我們特別關心氣溫與降雨對荔枝成花與開花著果的影響。

如一般植物開花受多因子調控(Bernier，1987)，荔枝成花除受內在因子（如品種、枝梢、葉片、生長素、植體養分等）影響外，也受環境（如光照、氣溫、乾旱等）與栽培技術（如修剪、施肥、環剝、植物生長調節物質施用等）等調控（張等，2023；Malhotra et. al. 2018; Shivandu et. al., 2026）。荔枝成花誘導期需要涼溫，充分成熟秋梢感受成花誘導效果最佳，若誘導期涼溫不足，花穗帶葉或根本無花（黃與陳，2003）。荔枝成花具有明顯的階段和步驟，各階段可能受不同因素調控（陳等，2014）。

荔枝要豐產、穩產，首需順利成花，其次花綻放後要能著果，最後果實還要能順利生長（李，2004）。充足涼溫爲成花重要條件之一，花朵綻放期間，須要氣候溫和、天氣晴朗，並且須蜜蜂協助授粉，才能著果；而土壤水分充足，才能讓果實順利生長（李，2007）。因此，本文擬藉氣溫與降雨等氣象資料，檢討 1997 到 2025 年大樹產區影響每年產量之主要氣候影響因素，進而討論荔枝豐產、穩產之道。

荔枝成花受涼溫促進，但前一年著果量也會影響翌年開花率。豐產年，不利採果後枝梢生育（Huang and Chen，2014）。相反地，歉產年，春梢、夏梢生長旺盛，成熟葉片數較多，縱使遭遇暖冬，仍可能成花。因此，我們一併考慮 28 年來各年荔枝著果量。

涼溫爲荔枝成花重要因素之一，已試著利用涼溫累積進行成花預測(Chen and Huang, 2005; Chen et. al., 2016; Chang et. al.， 2025)。玉荷包荔枝以台大人工氣候室 20/15°C（晝/夜）處理 7 週後出現花序（薛，1989）。其後再以 20/20°C或 20/15°C處理 8-9 週，花序形成分別爲 50%與 75%（沈，1992）。因此，採用積溫方式，擬定 20/20 °C爲玉荷包荔枝花芽形成之有效溫度上限。由於高雄大樹區爲玉荷包荔枝主要產區，因此，以該地秋冬季之涼溫累積量(accumulation of cool temperature)作爲探討當地能否成花的依據。既然探討大樹產區，氣象資料理應採自該區，但因當地氣象資料時有遺漏，而距離大樹約 30 公里之高雄區農業改良場備有歷年逐日、逐時氣象資料，故以高改場氣象資料爲計算基準。由於 1 月 20 日約爲玉荷包荔枝花序「白點」(或「白小米粒 whitish millet」，小花穗與小花形成期)（黃與陳，2003； Huang and Chen, 2003）。我們調查與匯整該場 1997 年到 2021 年期間，從每一年 11 月 21 日 0 時起，到翌年 1 月 20 日 24 時止每小時平均氣溫，若任一小時之平均氣溫低於 20.0°C，則與 20.0 相減，得其 degree-hr (DH)，將所得之值，逐時、逐日、逐月累加，最後得到 61 天的涼溫總累積量。然後，根據每年度所得的涼溫累積值與高雄大樹產區 1997 年到 2025 年歷年荔枝產量紀錄相比對，初步估算荔枝成花的最低涼溫需求量爲 1,800 DH（李等，2021），並進而於 2021-2026 年間每年實地驗證涼溫累積量與成花情形，經逐年比對，1,800 DH 應可做爲玉荷包荔枝成花之涼溫需求量(李雪如、陳泰安、林宗賢，未發表資料)。

既然得悉玉荷包荔枝成花之涼溫累積需求量爲 1,800 DH，我們擬回過頭來，分析與檢討大樹產區過去 28 年來荔枝產量變化，檢討其產量變因。亦即經由逐年計算所得的涼溫累積量，推測當年的成花情形；並與歷年敘述高雄大樹與其他產區荔枝開花與著果資

料，如高雄大樹每年每公頃產量（單產）（公斤/公頃）（農業部農糧署農情報告資源網）、《農政與農情》之生產預測、研究報告、農業推廣資訊、與媒體報導等相互對照，並檢視高雄區農改場每年 9 月 1 日到 12 月 31 日每日降雨量紀錄（圖 1-1，圖 1-2，圖 1-3），藉以推估荔枝秋、冬梢萌發與生長狀況；另外，檢視 2 月 1 日到 4 月 30 日之每日最高溫、平均溫、最低溫和每日降雨量等（圖 2-1，圖 2-2，圖 2-3），藉以判斷各年度開花授粉期間著果與果實生長情形。ON 代表成花或著果良好，OFF 則代表成花或著果不良。 那些低產年度究竟來自難成花？難著果？或果實無法順利生長？經逐年檢討後，希能診斷低產原因，進而建議豐產、穩產對策。同時，也設法驗證 1,800 DH 涼溫閾值是否適用於每一年度？若不適用，則檢討產生落差原因，俾作爲涼溫預測開花模型改善參考。

高雄大樹荔枝產區 1997-2025 年各年度成花與著果檢視

表 1. 高雄大樹荔枝歷年成花與結果分析

表1、高雄大樹荔枝歷年開花與結果分析
Table 1. Analysis of Flowering and Fruiting over the Years for Litchi at Dashu, Kaohsiung.

Year	Cool-temp accumulation (DH)			Flowering	Yield (kg/ha)	% of optimal yield	Fruiting	Rainfall (mm)	Remarks
	12/20	1/20	2/10						
97-98	400	974	2164	OFF	34	0.4	OFF	258	暖冬，少花，授粉雨害，極歉產
98-99	242	1312	1922	OFF to ON	6250	67.2	ON	47	由前小年轉大年
99-00	459	2094	3391	ON	4750	51.1	OFF	76	授粉雨害，落果
00-01	137	1031	1567	OFF to ON	6229	67.0	ON	34	由前小年轉大年
01-02	301	2025	3097	ON	7800	83.9	ON	20	
02-03	465	1922	2972	ON	9300	100.0	ON	113	
03-04	772	1948	3796	ON	6462	69.5	ON	34	
04-05	336	2165	2789	ON	6011	64.6	ON	87	授粉低溫、雨害，不利著果
05-06	860	2118	2890	ON	6612	71.1	ON	91	
06-07	326	1415	2681	OFF to ON	9600	103.0	ON	49	停梢，涼溫續，繁花，氣候順，盛產
07-08	545	1574	2543	OFF	3390	36.5	OFF	25	
08-09	1083	3063	3796	ON	9000	96.8	ON	27	
09-10	650	2321	2555	ON	5490	59.0	OFF	18	八月颱風，授粉寒熱交替，春旱，少果
10-11	765	2956	4176	ON	3990	42.9	OFF	10	春旱，少果
11-12	505	1879	3056	ON	4500	48.4	OFF	25	授粉雨害，溫差大，少果
12-13	313	1917	2468	ON	7800	83.9	ON	104	
13-14	1131	3416	4570	ON	7470	80.3	ON	60	
14-15	798	2572	3857	ON	8091	87.0	ON	14	
15-16	460	1337	3291	OFF	3150	33.9	OFF	336	後續寒流與春雨，帶葉花序，少果
16-17	247	778	1572	OFF	5490	59.0	OFF	21	
17-18	750	2367	3982	ON	8340	89.7	ON	58	
18-19	216	672	1402	OFF	2430	26.1	OFF	17	
19-20	866	1817	3033	ON	6600	71.0	ON	65	
20-21	225	2610	3509	ON	6300	67.7	ON	19	
21-22	739	1937	2629	ON	4800	51.6	OFF	48	著果氣候異常
22-23	598	2043	3176	ON	6450	69.4	ON	1	
23-24	271	1554	2474	OFF	4350	46.8	OFF	6	開花不佳，帶葉花序，少果
24-25	695	2395	3670	ON	3599	38.7	OFF	45	成花佳。寒，綻放遲，遇寒雨，少果

Note: % of optimal yield = Yield of the Current Year (kg) / 9300 kg

1997-1998 年

雖 9 月下旬後少雨（圖 1-1），可抑梢，但涼溫累積極不足迄 1 月 20 日，僅 974 DH（表 1），難成花(OFF)；開花授粉期間陰寒霪雨（圖 2-1），著果後，果實生長初期，雖降雨滋潤（圖 2-1），但因少花、少果，導致極歉產，屬於小年(OFF)，單產僅爲豐產年之 0.4%（表 1）。如表 1，豐產年產量係爲歷年產量最高前三年之平均）。

1998-1999 年

秋季雨量不少，9 月 111 mm，10 月 217 mm（圖 1-1），似易抽梢，而迄 1 月 20 日涼溫僅累積 1,312DH（表 1），不足 488 DH，理論上難成花，不過單產不低（表 1），顯示尚能開花(OFF to ON，由涼溫累積量預測屬於「無花」，但卻「成花」)。此可能係因前一年低產，促進營養生長，成熟葉片數與養分累積充足。加上開花授粉期間無雨，日均溫多高於 20 度（圖 2-1），著果後，果實生長初期之 3、4 月間或降雨（圖 2-1），裨益果實生長，產量尚可，大年(ON)（表 1）

1999-2000 年

秋季降雨不少，9 月 261 mm，10 月 108mm（圖 1-1），可能促新梢，但因涼溫累積足夠（表 1），仍利於成花(ON)；不過，開花授粉期間低溫，縱使僅降小雨（圖 2-1），仍可能不利著果。果實生長初期間或降雨，裨益果實生長，但可能因著果率不高，導致產量不高，小年(OFF)（表 1）。

2000-2001 年

秋季土壤乾燥（圖 1-1），憾涼溫不足（表 1）；不過因前一年歉產，勉強成花(OFF to ON)；開花授粉期間，天候良好（圖 2-1），利於著果，果實生長期間，間或降雨（圖 2-1），裨益果實生長，產量尚可，大年(ON)（表 1）。

2001-2002 年

9 月納莉颱風豪雨，雨量達 749.5 mm，其後少雨（圖 1-1），但涼溫累積足（表 1），成花順利(ON)；開花授粉期間天候良好（圖 2-1），利於著果。著果後之果實生長初期少雨（圖 2-1），可能不利果實生長，但無乾旱報導，產量佳，大年(ON)（表 1）。

2002-2003 年

秋季少雨，12 月降 70 mm（圖 1-1），涼溫累積足（表 1），成花順利(ON)；開花授粉期間天候良好（圖 2-1），利於著果，其後，間或降雨，裨益果實生長，產量甚佳，大年(ON)（表 1）。

2003-2004 年

可能因前一年盛產（表 1），9 月雨量又達 476 mm（圖 1-1），可能促抽梢；不過，隨後涼溫尚足，成花(ON)（表 1）縱使成花可能不多。開花授粉期間天候良好（圖 2-1），利於著果，又果實生長期間間歇降雨，裨益果實生長（圖 2-1），產量尚可，大年(ON)（表 1）。

2004-2005 年

降雨量 9 月 287 mm，12 月 103.5 mm（圖 1-1）；似乎不利抑梢但涼溫尚足（表 1），有利成花(ON)；開花授粉期間寒熱交替，同時降雨也多（圖 2-1），似乎不利著果，但可能因成花順利，兼以果實生長期間，間歇降雨（圖 2-1），裨益果實生長，果實產量尚可，大年(ON)（表 1）。

2005-2006 年

秋季少雨（圖 1-1），涼溫足（表 1），成花順利(ON)；開花授粉期間天候良好（圖 2-

1)，利於著果；果實生長期間，間歇降雨（圖 2-1），裨益果實生長，產量尙可，大年(ON)（表 1）。

2006-2007 年

秋季 9 月強降雨，雨量 416.5 mm，10 月後雨少（圖 1-1）；強降雨可能啓動再萌新梢，但爾後少雨，雖然 11 月下旬涼溫不多，但可能仍成功抑梢。縱使 11/20-1/20 涼溫不足，較最低需求之 1,800 DH 尙不足 385 DH（表 1），本難成花，但隨後涼溫補充，較晚熟之枝梢可能恰獲其利而順利成花(OFF to ON)；兼以開花授粉期間天候良好 (圖 2-1)，利於著果，加上果實生長期間歇降雨，裨益果實生長（圖 2-1），造成最近三十年來最高單產，大年(ON)（表 1)。推論如高土壤水分促進齊一萌梢，以便完熟後再抑梢的重要性。就像採果後修剪、施肥、灌溉等促進齊一萌梢的道理。

2007-2008 年

於 9 和 10 月降雨量分別爲 281mm 與 192mm（圖 1-2），土壤濕潤，不利抑梢。又涼溫稍不足（表 1），又上一年屬於盛產年，難成花(OFF)；開花授粉期間天候應算良好，4 月也降雨，裨益果實生長 (圖 2-2)，本利於著果或其後之果實生長，但因花少而低產，小年(OFF)（表 1）。

2008-2009 年

前一年低產，可能春夏枝梢旺；縱使 9、10 月降雨量各達 246 與 72 mm（圖 1-2），似乎不利抑梢；但涼溫累積達 3,063DH (表 1)，裨益成花(ON)；開花授粉期間天候良好，均溫多 20℃以上，著果良好，兼以果實生長期間間歇降雨（圖 2-2），裨益果實生長，產量爲歷年來第三高，大年(ON)（表 1）。

2009-2010 年

10 月後秋雨少（圖 1-2），可抑梢，但因 8 月莫拉克強颱可能損傷枝。後來，雖涼溫充足（表 1），可順利成花(ON)，但總花量可能較少。開花授粉期間，4-5 日陰寒，又微降雨（圖 2-2），不利著果。著果後到 4 月 15 日少雨乾旱（圖 2-2），不利果實生長，甚至可能生理落果，最終產量不高，小年(OFF)（表 1）。

2010-2011 年

9 月凡那比颱風侵襲，降雨量 1074 mm（圖 1-2），風大，樹體可能受損。雖涼溫充足（表 1），可成花(ON)，但總花量應不多。縱使開花授粉期間天候良好，少雨，日均溫 20 度以上（圖 2-2），爲著果理想天候。不過，著果後一直到 4 月上旬幾乎無雨（圖 2-2），乾旱似乎促進生理落果而歉產，小年(OFF)（表 1）。

2011-2012 年

9-12 月普遍降雨，其中以 9 月與 11 月爲多，各爲 227 與 158 mm（圖 1-2），抑梢可能困難，涼溫剛超過門檻（表 1），理論上可成花(ON)，但成花與否，可能依果園抑梢成敗而異；縱使成花，總花量也不甚高。開花授粉期間，降雨，又氣溫高低起伏，日均溫有 8 天降到 15℃（圖 2-2），不利授粉與著果；又 3 及 4 月上旬少雨（圖 2-2），不利果實生長，歉產，小年(OFF)（表 1）。

2012-2013 年

除了 9 月上旬外，其餘到 12 月底，降雨不多（圖 1-2），應有利抑梢；涼溫雖僅稍高於需求（表 1），但因前連續三年歉產，應有利成花(ON)。開花著果期間，無雨，氣溫僅一天日均溫低於 20 度，（圖 2-2）利於著果；3、4 月之交降雨，裨益果實生長，產量佳，大年(ON)（表 1）。

2013-2014 年

除了 9 月達到 200 mm 降雨量外，其餘各月都低於 40 mm（圖 1-2），有利抑梢。涼溫甚充足（表 1），順利成花(ON)。開花著果期間，除了 3 天較冷外，其餘多超過 20 度日均溫（圖 2-2），適合著果；其後 3、4 月之交降雨（圖 2-2），裨益果實生長，產量佳，大年(ON)。

2014-2015 年

降雨量，除了 9 月 247 mm 外，其餘都低（圖 1-2）涼溫充足（表 1），順利抑梢與成花(ON)。開花著果期間，氣溫日均溫 22 到 25 度，少雨（圖 2-2），有利著果。其後果實生長期間雖降雨不多（圖 2-2），但最終產量尚佳，大年(ON)（表 1）。

2015-2016 年

9 月僅降 112 mm 雨量，其他月份更少（圖 1-2）迄 1/20，涼溫累積量不足（表 1），成花不順(OFF)，1 月下旬雖連續寒流，或再促花，但多爲帶葉花序。2、3 月開花著果期間霪雨、溫差大（圖 2-2），不利著果，產量甚低,小年(OFF)（表 1）。

2016-2017 年

9 月降雨達 1,310 mm，而 10-12 月少雨（圖 1-2），縱使初期多雨可能促梢，其後少雨或尚可抑梢，但涼溫極爲不足，僅爲 777.8 DH（表 1），成花甚低(OFF)，開花授粉期間，2 月下旬-3 月上旬少雨，氣候尚佳，著果後也降雨（圖 2-2）；可惜，畢竟因少花而歉產，小年(OFF)（表 1）。

2017-2018 年

雖然 9 與 10 月各降約 110 mm 雨量，爾後少雨（圖 1-3），涼溫累積又足（表 1），成花良好(ON)，開花授粉期間，除了 3 月 8-10 日氣溫降、有雨外，其餘良好（圖 2-3），著果良好；又其後間又有降雨（圖 2-3），裨益果實生長。前二年都歉產，相對地，今年可稱盛產，大年(ON)（表 1）。

2018-2019 年

10 月以後降雨極少（圖 1-3），但涼溫累積極不足，僅有 671.8 DH，爲本研究期間最低者（表 1），成花少(OFF)。縱使開花授粉期間氣候良好，無雨（圖 2-3），適合著果；加上 2 月後無雨，乾旱，暖溫（圖 2-3），椿象嚴重危害，甚歉產，小年(OFF)（表 1）。

2019-2020 年

9 月降雨在歷年平均以下，10 月後少雨（圖 1-3），涼溫累積恰達涼溫門檻（表 1）。可能因前一年歉產，營養生長良好，加上少雨，可抑梢，成花良好(ON)；開花授粉期間

氣候良好（圖 2-3），著果良好。3-4 月復有降雨（圖 2-3），裨益果實生長，產量尚佳，大年(ON)（表 1）。

2020-2021 年

如前一年秋冬降雨不多（圖 1-3），涼溫累積充足（表 1），有利成花(ON)。授粉期間日均溫約 22 度，無雨（圖 2-3），著果良好，但果實生長初期無雨，乾旱，果實生長似乎受阻，最終，產量尚可，大年(ON)（表 1）。

2021-2022 年

9-10 月降雨量各爲 150 與 104 mm，其後，少雨（圖 1-3）。涼溫累積尚足（表 1），枝梢成熟，實地調查，順利成花(ON)。開花授粉期間，2 月下旬陰寒霪雨，3 月 7、8、9 日低溫（圖 2-3），著果不佳，縱使爾後天候（圖 2-3）適合果實生長，但產量不高，小年(OFF)（表 1）。

2022-2023 年

9-12 月雨量少（圖 1-3），涼溫累積足（表 1），加上前一年產量不高，實地調查，成花良好(ON)。開花授粉期間，日均溫 18-25 度，無雨（圖 2-3），著果良好，果實初期生長期間少雨（圖 2-3），恐不利果實生長，不過，最終產量尚可，大年(ON)（表 1）。

2023-2024 年

9 月降雨 517 mm，其後少雨（圖 1-3）。涼溫雖僅不足 250 DH（表 1），經實地調查，成花難(OFF)。開花授粉期間，多在 20℃以上，雨少（圖 2-3），適宜授粉著果。著果後少雨（圖 2-3），似不利果實生長。但本年低產，小年(OFF)（表 1）主要係因開花不良。

2024-2025 年

9 與 10 月單月降雨量都介於 420-460 mm，11 月尚有 117 mm（圖 1-3），似乎不利抑梢，但可能因前一年小年，加上涼溫累積充足（表 1），實地調查，成花順利(ON)。但開花授粉期間天寒，微雨（圖 2-3），不利著果，歉產，小年(OFF)（表 1）。

從氣候影響成花、授粉著果與果實生長之角度，我們逐年檢視高雄大樹產區玉荷包荔枝從 1997 到 2025 年 28 個年度之產量變因（表 1）。涼溫累積超過 1,800 DH 並能順利成花(ON)者計 19 個年度，占 68%。低於該閾值者計 9 個年度，但其中有 3 年度（1998-1999、2000-2001 和 2006-2007 年）尚能成花。在 22 個成花年度中，可順利著果，歸類爲大年(ON)者計 16 個年度，占 57.1%，而其餘 42.9%則歸屬小年(OFF)，因難成花或難著果導致，該比例不可謂不大。在 12 個小年年度中，6 個年度（占 21.4%）係因難成花；而另 6 個年度（占 21.4%）縱使成花，但因天候不佳，難著果，或果實生長期間乾旱，無法順利生長（表 1）。荔枝爲多年性作物，既然栽種，就應力求豐產穩產。因此，我們試圖分別就如何確保成花、著果與果實生長建議改善之道，即推動「系統整合栽培技術」，設法克服涼溫不足以確保成花,加強開花著果期間授粉以提高著果率，並改善果園灌漑設施，即時添加土壤水分，確保果實順利生長。

上述 3 個年度（1998-1999、2000-2001 和 2006-2007 年）（表 1）爲何涼溫累積不足尚能成花？猜測前 2 年度（1998-1999 和 2000-2001）可能係因前一年度歉產，促進

枝梢生長，成熟葉片衆多，並累積充足養分，翌年縱使涼溫不足，尚能順利成花。可見，成花與否，除了考量涼溫累積量，仍須一併考慮前一年結果與枝梢生育量。另一個年度（2006-2007）則可能係因 9 月強降雨促進新梢再次萌發，而隨後不再降雨，乾旱（圖 1-1），雖到翌年 1/20 涼溫累積仍不足，但裨益停梢，加上 1/20 以後仍持續累積涼溫而成花（表 1）。總之，涼溫雖係成花主要因素，但植株前一季產量、生長季枝梢生長總量與秋冬枝梢成熟度等均可能影響成花所需的涼溫量。由大樹歷年分析，荔枝產區於秋季後降雨漸減，有利抑梢與枝梢成熟。

我們提議的涼溫累積閾值 1,800 DH 是否合理？若嫌此值太高，應選用 2006-2007 年度涼溫累積值 1,415 DH（表 1），那麼，2007-2008 年度獲得 1,574 DH 應屬成花(ON)年，但實際爲難成花(OFF)年；又 2023-2024 年度雖獲 1,554 DH，仍屬難成花（OFF）年（表 1）；或許可爭論乃是前一年度爲著果大(ON)年，才導致翌年難成花，但 2022-2023 年度單產僅爲盛產年的 69.4%（表 1），未免牽強。相反地，若嫌 1,800 DH 值太低，應予以提高，若以必須達到 1,900 DH 爲例，2002-2003、2003-2004、2012-2013、2021-2022 等年度，均可順利成花。另一方面，介於 1,800-1,900 DH 年度，如 2011-2012、2019-2020 年度可以順利成花（表 1），雖然仍可辯解係因前一年著果小（OFF）年所致。總之，如下述，涼溫雖爲荔枝成花極重要因素之一，但仍受到其他因素影響。經近 30 年驗證，以 1,800DH 做爲玉荷包荔枝成花之涼溫閾值似屬合理，當然，將持續追蹤並做修正。

分析檢討大樹荔枝 28 年來產量變化，最近 6-7 年單產似不如前（表 1）；或可歸咎天候，但農友老化，力不從心，令人關切；應鼓勵青農投入，推動智慧管理。

總之，對於荔枝成花的涼溫累積量，期待不僅能奠定數量管理基礎，還可作爲預警工具；若到冬至（約 12 月 20 日）尚未累積 500 DH（表 1），則必須更加強下述的「系統整合栽培技術」（圖 3）以提高荔枝成花機會。

利用系統整合栽培技術設法克服涼溫不足確保成花

我們從大樹荔枝歷年比較得到玉荷包荔枝成花的涼溫累積需求量（1,800 DH），不僅可用於高雄大樹，也可用於檢驗屏東恆春玉荷包成花與否。最近四、五年逐年調查恆春荔枝園開花率，但見多無法每年穩定開花，隔年開花結果嚴重。自 2020 年起，恆春涼溫累積量，除了 2020-2021 年度達 1,100 DH 外，其餘都落在 300-650 DH 間；顯示該地每年都無法滿足 1,800 DH 需求，導致許多果園無法穩定成花而疏於或放棄管理。不過，仍有精進如陳恆松先生，在農業試驗與推廣單位輔導下，運用系統整合栽培技術，成功取代約 1150-1400 DH 的涼温需求，連續五年每年開花著果（林等。2026。氣候變遷下荔枝穩產及調適作爲-以恆春地區栽培模式爲例。本論文集 頁 45。），超過 80%成熟梢著生花穗，每公頃產量 7-12 公噸，打破不足 1,800 DH 無法成花的魔咒。我們不僅可量化涼温需求，進而判斷涼温需求不足的程度，同時，也看到善用栽培管理技術克服暖冬難成花的實例。

高雄大樹產區亦非能年年滿足 1,800 DH 需求，呈現大小年或歉產現象。不過，當地如尤惠璋農友也實踐本系統化栽培技術確保年年成花，縱使暖冬，仍可達六成開花率。而且他試著每年每公頃多維持約 12 公噸產量（個人通訊）。此單產遠高於當地平均單產（表 1）；顯示妥善運用該系統整合栽培技術（圖 3），應能穩定成花。不過，2024-2025 年度涼溫雖充足而成花，但隨後天候陰冷，尤先生園著果不良，產量低，殊爲可惜，應加強授粉期管理。

採行系統整合栽培技術，控梢促花，克服暖冬無花困境

荔枝成花過程與其調控因素在本研討會前段已詳細討論（張與邱。2026。解密荔枝開花機制。本論文集 頁 39；林等。2026。本論文集 頁 45。），不再贅述。僅擬從栽培層面「控梢」予以討論，唯有成功控梢才能讓眾成熟葉片感受涼溫，進而才可能引發一系列變化而成花。控梢包括前面的「促梢」與後面的「抑梢」。促梢促進 2-3 次健全新梢形成，抑梢則設法抑制枝梢不再萌發展葉，以維持在靜止(quiescence)狀態，俾感應涼溫（圖 4）。

荔枝開花過程至少包括葉片、韌皮部與莖頂分生組織的交互作用（張與邱。2026。本論文集 頁 39）。為讓荔枝樹體成功感受涼溫而成花，開花前必須備有健全而較多量的成熟葉片，而且讓樹體累積多量的碳水化合物與其他養分。因此，一旦果實採收後，應盡速進行短截修剪，但修剪不宜過強，應留部分帶葉枝梢（李，2018），並立即施肥、灌溉，促進新梢萌發與生長，儘早進行光合作用，恢復樹勢。

荔枝具有間歇性重複抽梢(intermittent recurrent flushing)習性。當第一次梢伸展完全，會呈現一段靜止(quiescent)期；在靜止期間，除了地下新根開始生長，該枝梢也開始準備下一波行動。通常枝梢頂芽自裁(die back)，毗鄰下側 1-3 個側芽取而代之，重新啓動第二次抽梢，呈複軸型生長(sympodial growth)模式，當伸展完全後，再次進入靜止期。大樹或恆春產區，若管理得宜，進入秋季，應能產生三次梢。同理，第三次梢也會進入靜止期。若每次梢發生 8-9 片葉，三次梢即達 24-27 葉，何況因為每次抽梢多於一枝梢，因此，可能造成蔭蔽擁擠，當涼溫來臨前後，宜疏刪過密的細弱枝梢。總之，這些葉片不僅用來感受涼溫，並提供供爾後花、果生育所需碳源。

當第三次梢一旦進入靜止期，就要努力「抑梢」，設法維持在靜止狀態（有人稱為「休眠 dormancy」，嚴格說，不夠精確）；否則，可能再抽新梢。一旦抽梢，縱使涼溫來臨，新梢不夠成熟，也難成花。

如何維持第三次梢妥當而較持久地處於靜止狀態？乃是荔枝栽培成敗關鍵。若巧遇涼溫，不僅能有效保持枝梢靜止，還能誘導成花；此外，環狀剝皮(Su et. al. 2021)，斷根，減少土壤水分，植物生長抑制劑（Huang and Chen, 2014）,調控氮肥與增施磷鉀肥等，均可延長成熟枝梢的靜止期，俾讓眾成熟葉片等候涼溫來臨，以啓動花誘導(flower induction)與花呼喚(flower evocation)過程（圖 4）。實務上，若到 12 月 21 或 22 日（冬至）尚未達到 500 DH 涼溫時，表示當年度涼溫累積可能不足，就更需勤於運用上列實務避免抽梢。若阻止不了，新梢萌動，新葉出現，則需逕予人工除葉，或噴施能除新葉的藥劑（如益收 ethephon），否則，新葉會抑制花穗形成。

上述實務係為提高荔枝成花的各種栽培技術，而涼溫為成花之關鍵要因。近因全球暖化，若碰上暖冬，荔枝成花較難，更應鼓勵應用上述系統整合栽培技術（圖 3），事實上，該等各種栽培技術都曾被分別證實能有效提高成花率。欣見屏東恆春陳恆松與高雄大樹尤惠璋等先進農友，歷年來都積極實踐經整合的栽培技術，在涼溫不足年份尚能有效成花。如前言，植物開花乃受多因子調控，縱使關鍵要因的涼溫不足，仍能以該系統整合栽培技術取代部分涼溫需求。

如上述，若能成功維持荔枝成熟枝梢於靜止狀態，則漸漸由營養態轉化成生殖態，在花呼喚方面，一如其他植物（Bernier et. al. 1981），莖頂及其下側之側芽與葉原體提早產生。若涼溫充足或土壤乾旱，則該等側芽保持靜止，不萌發抽長；隨著呼喚進展，終轉成花序分支原體，並於其上陸續形成小花原體；葉原體亦不伸展進而轉化成苞片(bract)脫落。臺灣較乾旱‘黑葉’荔枝產區，這些變化自 11 月上旬即陸續發生（林，1987）；最後，如大樹玉荷包荔枝的小花原體約於 1 月 20 日出現。因此，在形態上，涼溫和乾旱

不僅維持成熟枝梢靜止，還促進荔枝花的呼喚，當然，首需足夠成熟葉片群。

因此，控梢不僅促進衆多健全葉片形成，也可經由光合成充分累積碳源、養分及能量；更重要的，要能在涼溫降臨階段，保持葉片處於成熟狀態，避免再萌發新梢(Huang and Chen, 2014)。亦即涼溫結合成熟枝梢乃是荔枝成花要件，在邊際溫度，更須要有充分成熟枝梢，方較可能成花(O'Hare, 2002)。臺灣早於 1960 年代即得悉成熟頂梢對開花的重要性（黃，1966）。2010 年代後，得悉葉片 *Flowering Locus T* (*FT*)在低溫引導荔枝開花扮演關鍵角色(Shen et. al，2016)，荔枝兩類型 *LcFT* 中，唯有 *LcFT1* 能對涼溫感應，又 *LcFT1* 存有兩類型啓動子(promoter)，各存於早花和晚花型品種(Ding et. al. , 2015)。涼溫能有效引導荔枝成熟頂梢濃綠葉片內 *LcFT1* 基因表現進而開花，該等成熟葉累積較高可溶性糖類；而尚未成熟之淺綠葉片，則無法接受引導與無該基因表現(Xiao et. al., 2019)。顯示完全成熟頂梢葉片對於感受低溫藉以成花的重要性。

既然唯有成熟頂梢濃綠葉片才能感受涼溫誘導，那萬一萌發新梢是否有補救辦法？早在 1970 年代晚期，臺灣已得悉若將 11-12 月發生之嫩梢予以剪除（黃和翁，1978；張和陳，1979），或以益收(ethephon, Ethrel)處理（黃和翁，1978），能有效促進餘下側芽形成花穗，顯示新梢或嫩葉抑制花穗形成。又以色列產區冬季剪除頂嫩梢後，新萌側芽可在涼溫成花(Stern et. al., 2005)。冬梢噴施益收除葉促花爾後在臺灣廣被應用。益收處理促進新葉脫落。新葉或初生葉脫落類似葉片老化和脫落過程，含程序性細胞死亡(programmed cell death)、抗氧化活性降低、H_2O_2 增加等(Zhou et. al., 2008)。若以 H_2O_2 發生劑(即 methyl viologen dichloride hydrate)與 NO 發生劑(sodium nitroprusside)處理，可促進荔枝新葉脫落及花穗形成(Zhou et. al., 2012)。新葉經益收噴施後，H_2O_2、NO、超歧氧化酶(superoxide dismutase)與過氧化酶活性等均增加，顯示其與新葉老化和脫落有關(Zhou et. al., 2013)。

總之，若能成功控梢，不僅提高成熟葉片感受涼溫誘導，還能取代部分涼溫需求，確保成花。至於涼溫會促進成熟葉片開花基因表現外，似也能加強抑梢、防止頂芽萌發與阻礙葉原體形成葉片等，不過其相關機制仍待闡明。

加強授粉，提高著果率，加強水分管理，促進果實生長

回顧過去 28 年開花、著果與最終結果狀況。一旦無法成花，當然就甭談著果及最終產量。縱使成花， 2 月下旬-3 月中旬開花授粉期間，荔枝授粉、受精的最適溫度在 23–28°C 之間。高於 30°C 或低於 15°C 均不利於昆蟲活動或花粉發芽與生長 (陳，2017)。花粉體外發芽適合溫度介於 25 到 35°C間(Sukhvibul and Dasananda, 2014)。若遭遇低溫、寒熱變異或霪雨等，著果多不佳。除了現行的疏花穗小花外（張和林，2003），建議應加強授粉媒介導入。授粉係生態行爲，著果期天候不佳，建議更應事先加強授粉昆蟲的選擇與飼放，冀提升荔枝著果機會（李，2007）。花期雖偶見蜂農載蜂箱入園，其主要目的係採蜂蜜，果農多忽視蜜蜂對授粉著果的重要性，應予重視。

入秋後，中南部進入旱季，直到翌年 5 月下旬梅雨來臨，土壤乾旱才稍解（蔡耀賢。2026。荔枝灌溉管理之研究。本論文集 頁 118）。暮春初夏氣溫回升，蒸發散量大，恰值果實急劇生長期，亟需水分，否則果實生長遲緩，果小，易落果。幸虧，近年大樹農民多已逐步鋪設引水管路並改善果園噴灌設備，應有助於果實生長的水分管理。當然，綜合病蟲害防治與管理也須一併加強。

結論與建議

涼溫裨益成花，天候良好有益著果。利用涼溫累積量 1,800 DH 之模型檢視高雄大樹產區玉荷包荔枝從 1997 到 2025 年 28 個年度之產量變化，由於涼溫不足難成花與陰寒霪雨天候難著果，導致其中 12 個年度歉產。爲確保荔枝豐產與穩產，首需確保成花，精準控梢的系統整合栽培技術，已被成功實踐，值得進一步研究與推廣；該系統不僅確保足夠成熟枝梢葉片感受涼溫，並能部分取代成花的涼溫需求。花朵綻放授粉期間除了期待晴朗溫暖天候外，應致力於具有氣候韌性授粉昆蟲的選育與飼放，藉以提高授粉效率與著果率。最後，宜加強果實生育期間的水分管理與病蟲害防治。總之，氣候環境與栽培管理等因素影響玉荷包荔枝成花與著果，爲確保開花著果，宜採行系統整合栽培技術；建議鼓勵青農參與，加速技術推動。

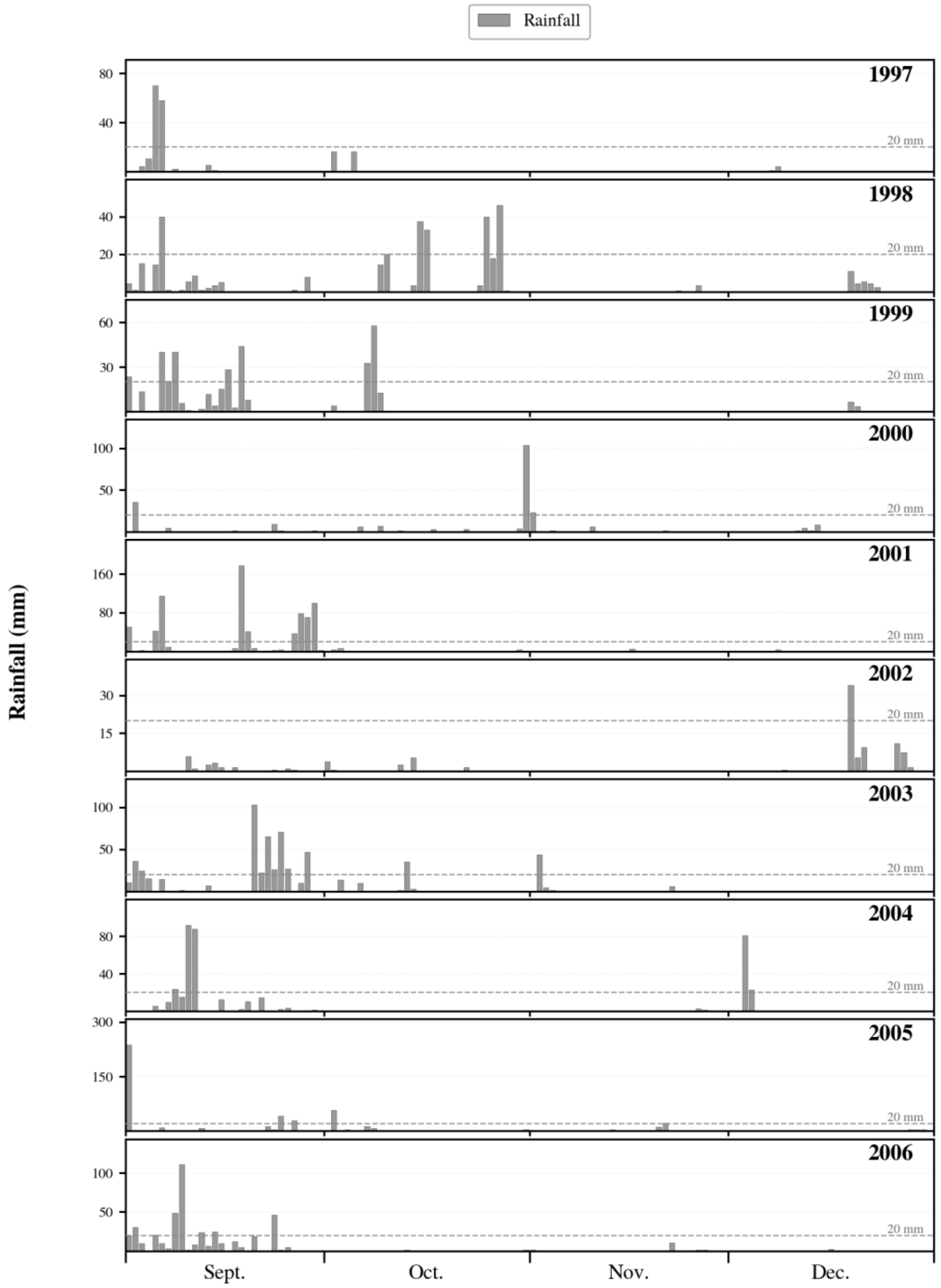

圖 1-1、高雄區農業改良場 1997-2006 年 9-12 月降雨量。

Fig. 1-1. Rainfall during September–December from 1997 to 2006 at the Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station.

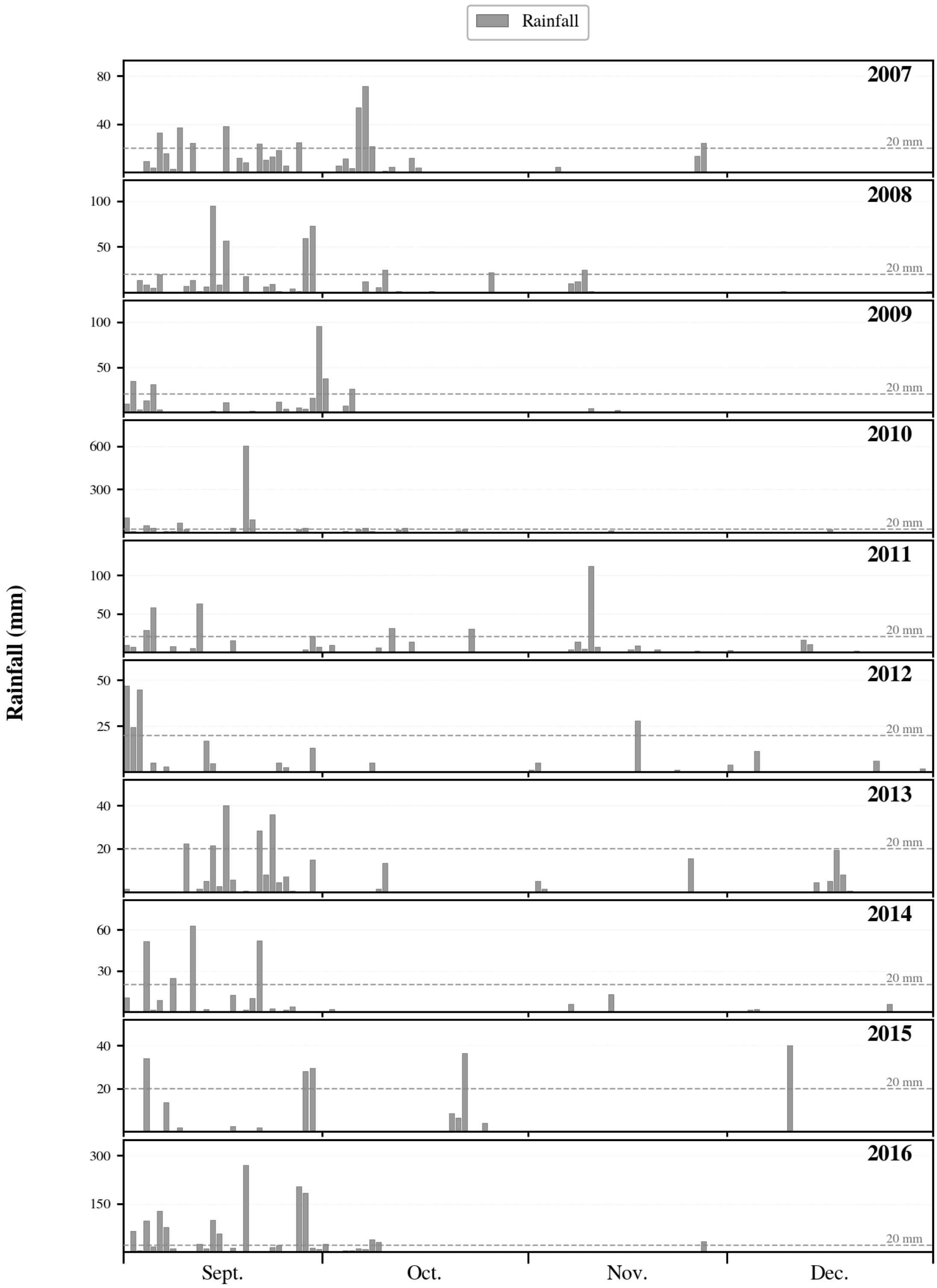

圖 1-2、高雄區農業改良場 2007-2016 年 9-12 月降雨量。

Fig. 1-2. Rainfall during September–December from 2007 to 2016 at the Kaohsiung

District Agricultural Research and Extension Station.

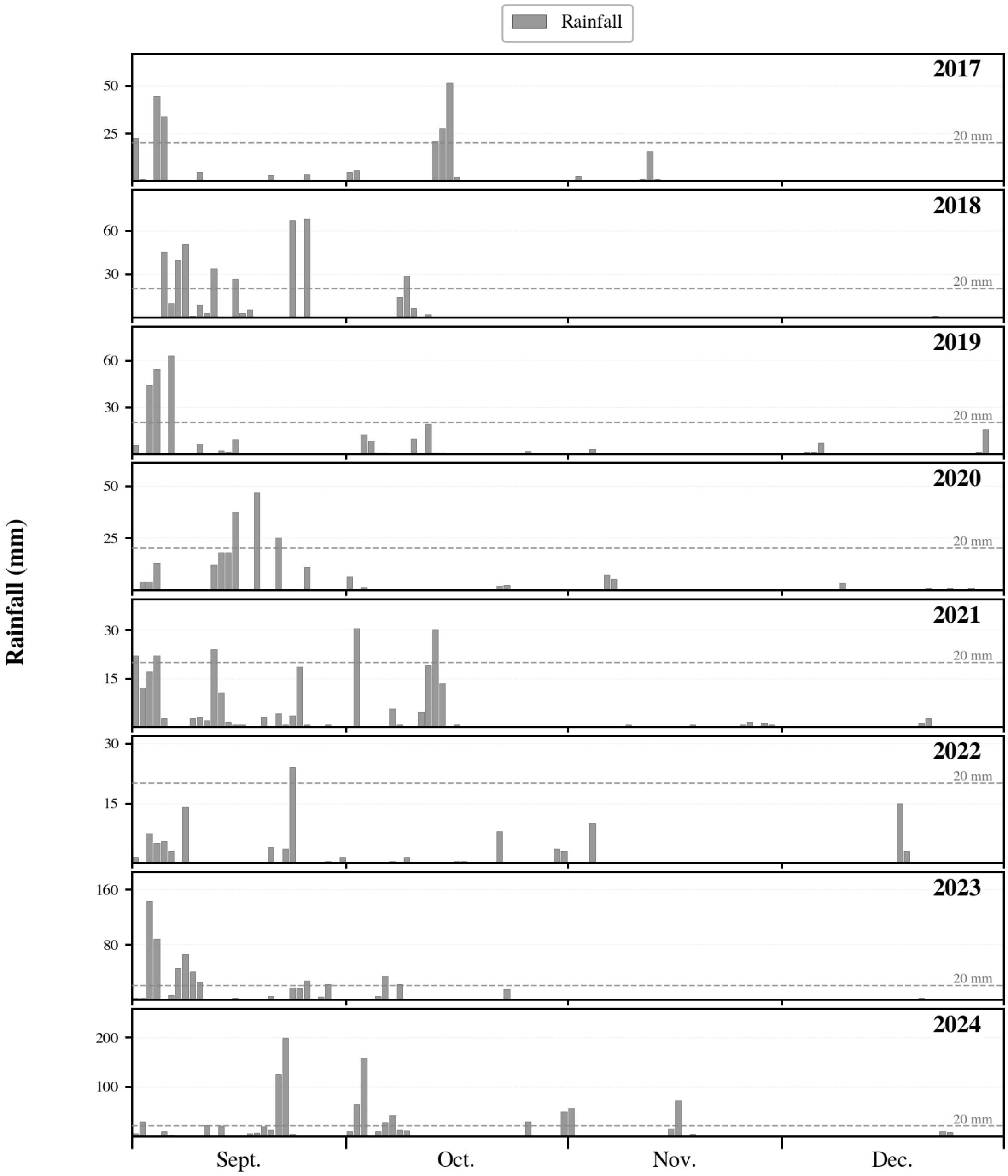

圖 1-3、高雄區農業改良場 2017-2024 年 9-12 月降雨量。

Fig. 1-3. Rainfall during September–December from 2017 to 2024 at the Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station.

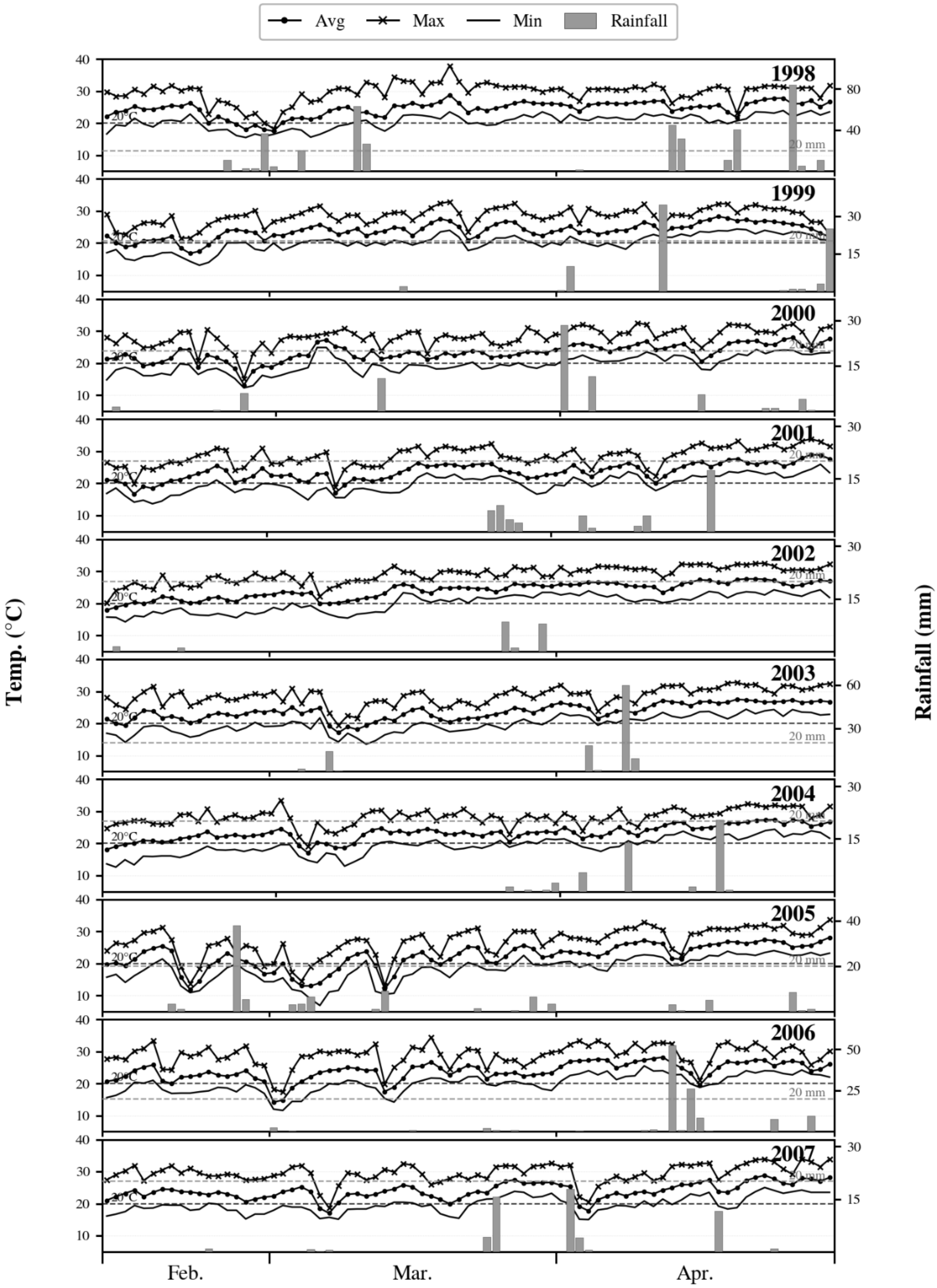

圖 2-1、高雄區農業改良場 1998-2007 年 2-4 月氣溫與降雨量。

Fig. 2-1. Air temperature and rainfall during February–April from 1998 to 2007 at the Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station.

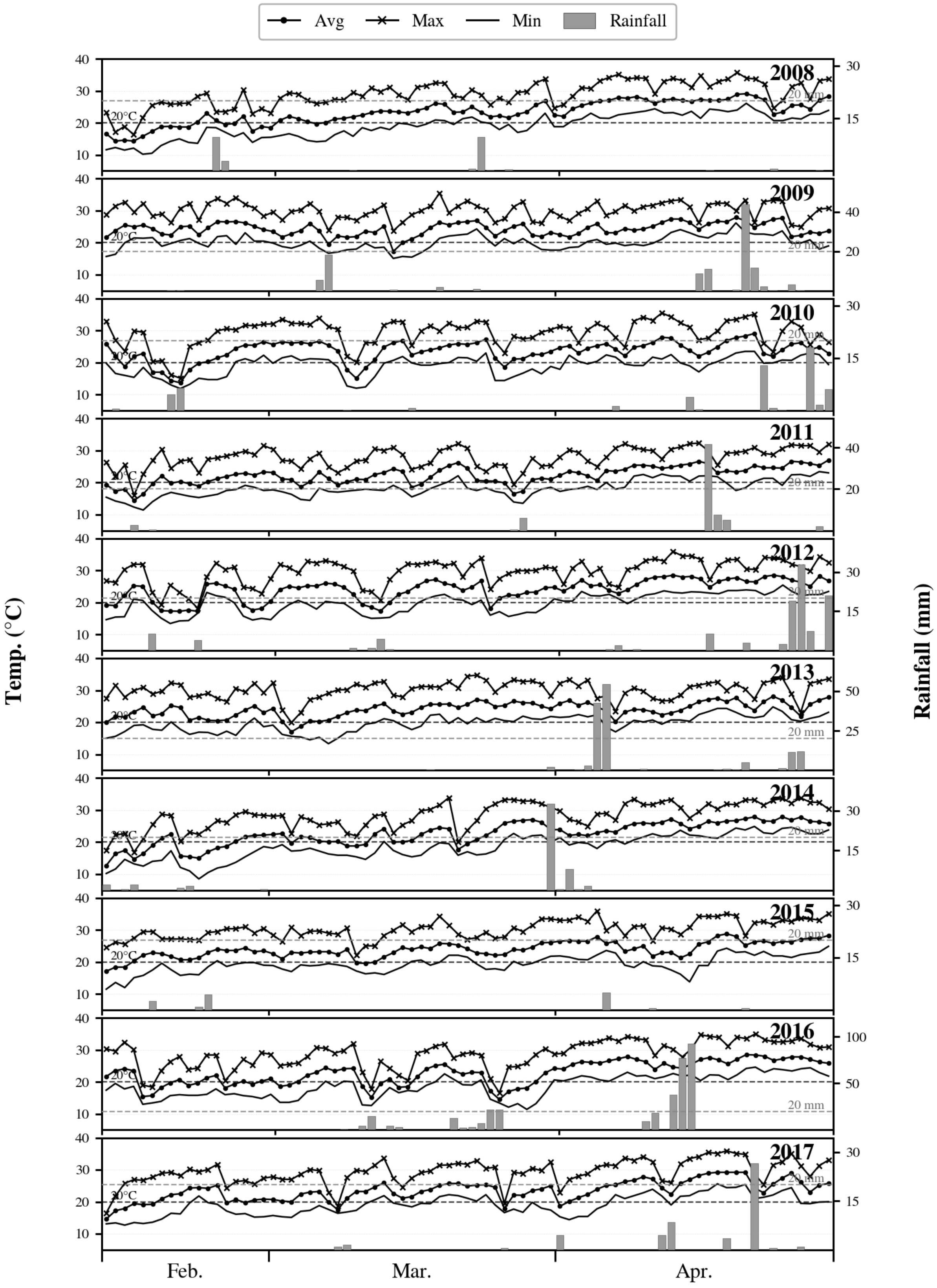

圖 2-2、高雄區農業改良場 2008-2017 年 2-4 月氣溫與降雨量。

Fig. 2-2. Air temperature and rainfall during February–April from 2008 to 2017 at the Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station.

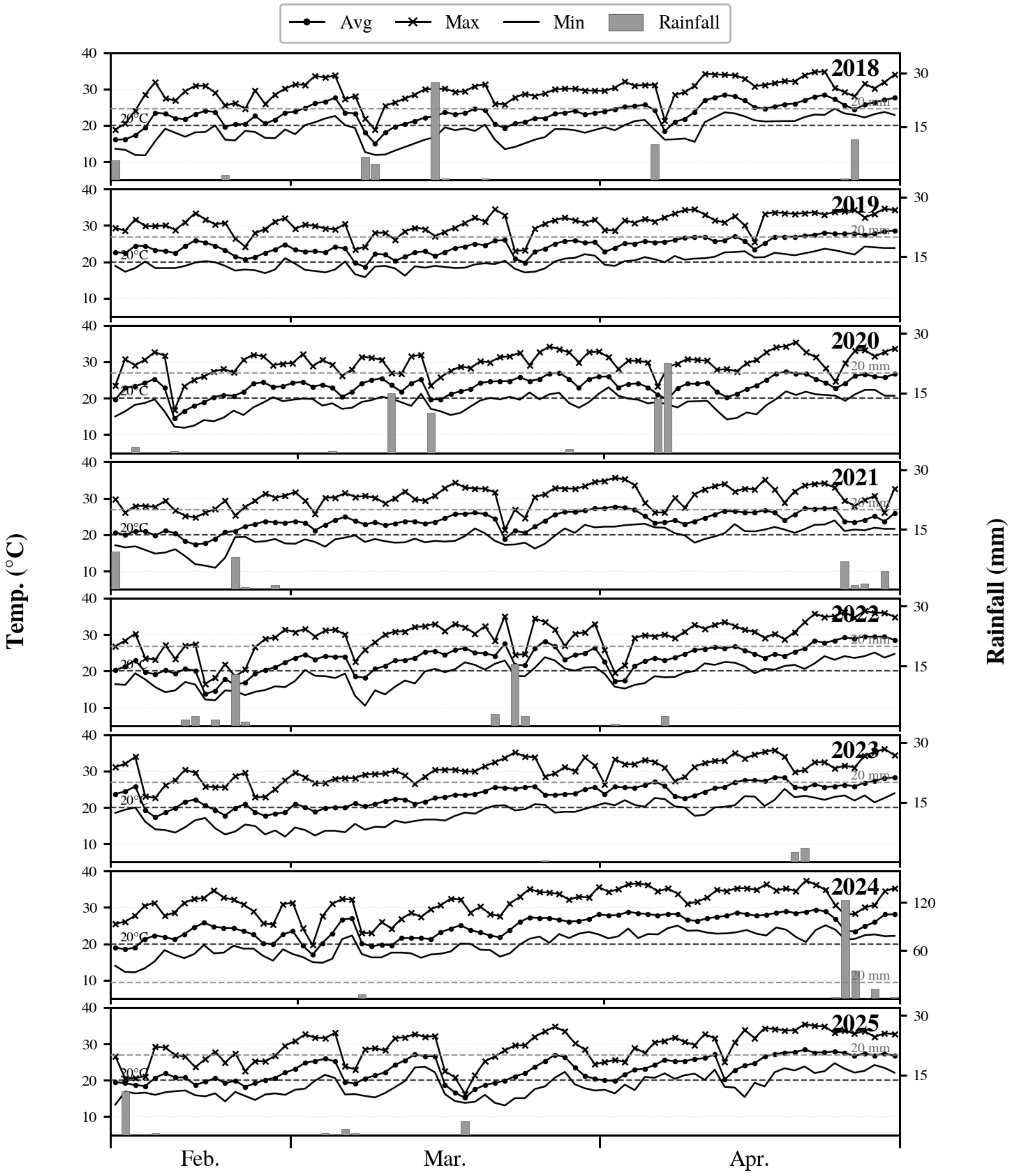

圖 2-3、高雄區農業改良場 2018-2025 年 2-4 月氣溫與降雨量。

Fig. 2-3. Air temperature and rainfall during February–April from 2018 to 2025 at the Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station.

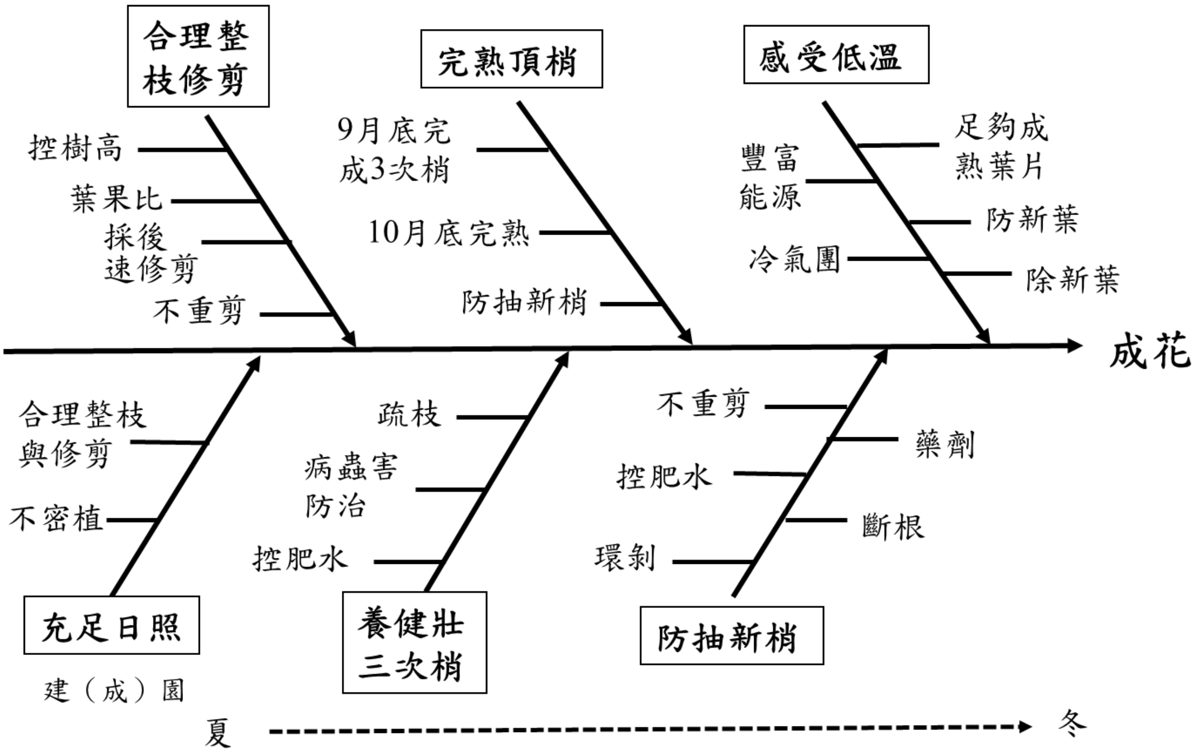

圖 3、 荔枝成花關鍵之系統整合栽培技術.

Fig. 3. Systematic integrated cultivation techniques for successful flowering in litchi.

控 梢 ＝ 促 梢 ＋ 抑 梢 ⟶ 成花

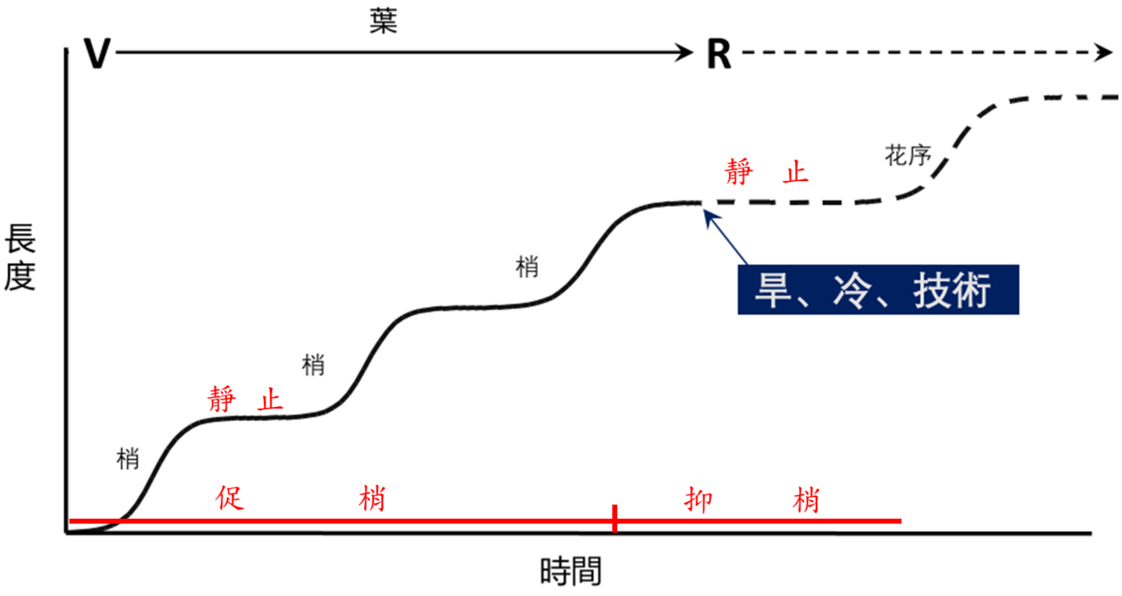

圖 4、荔枝由營養生長(V)轉生殖生長(R)示意圖

Fig. 4. Schematic diagram of the transition from vegetative (V) to reproductive (R) growth in litchi.

參考文獻

沈素美。1992。溫度、葉片、乙烯和光線對荔枝花穗形成之影響。國立臺灣大學園藝研究所碩士論文。66 頁。

李雪如。2004。‘玉荷包’荔枝開花結果之促成技術。高雄區農技報導第 56 期，7 頁。行政院農業委員會高雄區農業改良場編印。

李雪如。2007。‘玉荷包’荔枝結實管理技術。高雄區農技報導第 86 期，15 頁。行政院農業委員會高雄區農業改良場編印。

李雪如。2018。‘玉荷包’荔枝修剪對開花的影響。高雄區農業專訊 104: 12-13。

李雪如、陳泰安、林宗賢。2021。利用氣溫分析與預測荔枝開花成敗。台灣園藝學會 110 年論文宣讀摘要。台灣園藝 67:44-45。

林宗賢。1987。荔枝開花與花序形態。園藝作物產期研討會專集，頁 65-76。臺中區農業改良場特刊第 10 號。

張振宙、陳吉雄。1979。剪除糯米滋荔枝冬季嫩梢對產生花序之效果。中國園藝 25:207-210。

張哲嘉、林宗賢。2003。疏花序對玉荷包荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)花性、著果與果實品質間的影響。中華農學會報 4(5):418-428。

張哲瑋、朱彧瑩、柯昱成、陳柱中、方信秀、莊愷恩、陸明德。2023。氣候變遷下荔枝園管理調適。112 度農業生態系長期生態研究研討會 頁 95-104。

黃弼臣。1966。荔枝樹新梢之生長及其與抽穗之關係。中國園藝 12:8-14。

黃弼臣、翁愼微。1978。荔枝晚發新梢處理對增進結果之效果。第 1 報。中國園藝 24:121-126。

黃輝白、陳厚彬。 2003。以階段觀剖視荔枝的花芽分化。果樹學報 20:487-492。

陳厚彬、蘇鑽賢、張榮、張紅娜、丁峰、周碧燕。2014。 荔枝花芽分化研究進展。中國農業科學 47:1774-1783。

陳龍。2017。荔枝園生產與氣候關係分析。安徽農學通報 23(18): 125-127。

薛文鄰。1989。荔枝生理之基本研究。國立臺灣大學園藝研究所碩士論文。73 頁。

Bernier，G. 1987. The control of floral evocation and morphogenesis. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 1988. 39:175-219.

Bernier, G., J.-M. Kinet and R.M. Sachs. 1981.The Physiology of Flowering. Vol. 2 Transition to Reproductive Growth. pp. 21-34. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Chang, R.Y., L. Tang, C.-C. Chen, Y.-T. Zhang, and C. L. Chen. 2025. Prediction of inflorescence emergence in ‘Yu Her Pau’ litchi under climate change using an optimised model. Food Energy Sec. 14:e70032.

Chen, H. B. and H.B. Huang. 2005. Low temperature requirements for floral induction in lychee. Acta Hort. 665:195-202.

Chen, P.-A., S.-F. Roan, C.-L. Lee, and I. Z. Chen. 2016. Temperature model of litchi flowering: From induction to anthesis. Scient. Hort. 205:106-111.

Ding, F., S. Zhang, H. Chen, Z. Su, R. Zhang, Q. Xiao, and H. Li. 2015. Promoter difference of *LcFT1* is a leading cause of natural variation of flowering timing in different litchi cultivars (*Litchi chinensis* Sonn). Plant Sci. 241:128–137. http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.10.004.

Huang, H. B. and H.B. Chen. 2003. A phase approach towards floral formation in lychee. Acta Hort. 665:185-194.

Huang, X. M. and H.B. Chen. 2014. Studies on shoot, flower and fruit development in litchi and strategies for improved litchi production. Acta Hort. 1029:127-136.

Malhotra, S. K., S.K. Singh, and V. Nath. 2018. Physiology of flowering in litchi (*Litchi chinensis*): A review. Indian J. Agri. Sci.88:1319-1330.

O’Hare, T.J. 2002. Interaction of temperature and vegetative flush maturity influences shoot structure and development of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). Scient. Hort. 95:203-211.

Shen, J., Q. Xiao, H. Qiu, C. Chen, and H. Chen. 2016. Integrative effect of drought and low temperature on litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) floral initiation revealed by dynamic genome-wide transcriptome analysis. Sci. Rep. 6, 32005; doi: 10.1038/srep32005.

Shivandu, S. K., S. K. Sharma, N. Sharma, and G. Agrawal. 2026. The climatic complexities litchi flowering: physiological and molecular perspectives. New Zealand J. Crop Hort. Sci. 54:e70028.

Stern, R. A., M. Goren and S. Gazit. 2005. The effect of shoot pruning during the fall and winter on lychee flowering and yield. Acta Hort. 665:331-335.

Su, Z.; Q. Xiao, J. Shen, H. Chen, S. Yan, and W. Huang. 2021. Metabolomics analysis of litchi leaves during floral induction reveals metabolic improvement by stem girdling. Molecules 2021, 26, 4048. https://doi.org/10.3390/molecules26134048.

Sukhvibul, N. and M. Dasananda. 2014. Morphology and factors affecting germination of litchi pollen. Acta Hort. 1024:171-176.

Xiao, Q.-S., Z.-X. Su, H.-B. Chen and J.-Y. Shen. 2019. Genome-wide identification and involvement of litchi *SPL* genes in flowering in response to cold and leaf maturity. J. Hort. Sci. Biotechnol. 94:428-440. https://doi.org/10.1080/14620316.2018.1543557.

Zhou, B., H. Chen, X. Huang, N. Li, Z. Hu, Z. Gao. 2008. Rudimentary leaf abortion with the development of panicle in litchi: changes in ultrastructure, antioxidant enzymes and phytohormones. Sci. Hort. 117: 288-296. doi: 10. 1016/j.scienta.2008.04.004.

Zhou B., N. Li, Z. Zhang, X. Huang, H. Chen, Z. Hu, X. Pang, W. Liu, and Y. Lu. 2012. Hydrogen peroxide and nitric oxide promote reproductive growth in *Litchi chinensis*. Biol. Plant. 56:321-329.

Zhou, B., X. Huang, H. Chen, W. Shu, Z. Hu, and W. Liu.2013. Effects of ethylene on rudimentary leaf and panicle primordium in litchi: antioxidant enzymes, hydrogen peroxide and nitric oxide. Acta Hort.975:247-254.

Ensuring Flowering and Fruit Set of Litchi in Dashu District: Insights from Historical Yield Analysis

Sheue-Ru Lee[1]、Tai-An Chen[2]、Tzu-Wen Lin[1]、Tzong-Shyan Lin[3]

[1] Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station, Ministry of Agriculture
[2] Link Join Agricultural Technology Co., Ltd.
[3] Dept. of Horticulture and Landscape Architecture, National Taiwan University
* Correspondence: tslin66@hotmail.com

Abstract

This study examines the climatic factors affecting floral initiation, pollination, fruit set, and fruit growth by retrospectively analyzing the yield variables of 'Yu Her Pau' litchi in the Dashu production area of Kaohsiung over a 28-year period (1997–2025). The objective is to propose strategies for high and stable litchi production. Cooling accumulation was calculated by summing the hourly temperatures ≤ 20°C recorded at the Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station from November 21 to January 20 of the following year. Successful floral initiation (ON years) occurred in 19 years (68%) when cooling accumulation exceeded 1,800 Degree Hours (DH). Among the 9 years below this threshold, flowering was still achieved in 3 instances (1998-1999, 2000-2001, and 2006-2007). Out of the 22 years with successful flowering, 16 years resulted in successful fruit set and were classified as "ON" years, accounting for 57% of the 28-year period. The remaining 43% were classified as "OFF" years due to failures in either flowering or fruit set. After re-evaluating the climatic impacts on flowering and pollination, this paper advocates for a System-Integrated Cultivation Technology to ensure floral initiation, pollination, and fruit growth. The recommended practices include: immediate post-harvest pruning, fertilization, and irrigation to promote shoot growth and tree vigor recovery; subsequent management of nutrients and water, combined with girdling and thinning-out to develop healthy, mature shoots; and the immediate removal of any winter flushes to allow mature leaves to perceive cool temperatures for floral initiation. Farmers adopting this technology in Dashu have achieved consistent annual flowering. Furthermore, in the Hengchun production area—where cooling accumulation is only about 400 DH—stable flowering and fruit set have been maintained for five consecutive years, suggesting that this integrated technology can partially compensate for insufficient cooling. Finally, during the anthesis and pollination period, clear and warm weather is ideal; increasing honeybee populations for pollination and maintaining proper irrigation are critical to facilitating fruit set and subsequent fruit development.

Keywords: Cooling accumulation, shoot control, stable production technology, floral initiation, *Litchi chinensis*

以栽培生理角度探討'玉荷包'荔枝生殖生長之研究進展、應用與展望

李昱錡[1]、張哲嘉[2,*]

[1]農業部臺中區農業改良場 助理研究員
[2]國立中興大學園藝學系 教授
*聯繫人 e-mail: jerchiachang@dragon.nchu.edu.tw

'玉荷包'荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)因品質優異，且誘導花芽形成之涼溫量較低、符合氣候變遷(climate change)下之產業發展趨勢而為台灣主要栽培品種，但仍存有花序類型不一及結實不穩問題，導致生產成本及栽培門檻較高之問題。本文以栽培生理角度，回顧'玉荷包'荔枝花序型態、以側花軸節點數(paracladium node)及生殖指標對純花序(leafless inflorescence)結構量化分析及同一花序兩波偏雌花(two-sequence female flowers)對果實生產之影響，希能作為果園管理及後續研究之參考。純花序與帶葉花序(leafy inflorescence)之開花枝供碳潛能相同，惟前者之花序品質、留果數及每果穗重均較高，但著果率及果實性狀無差異。以 FA (factor analysis)與 K-means 聚類法(clustering)將側花軸節點劃分為核心區(core zone) (自花軸基部算起 40-50%節點數，具 75%偏雌花及 80%果實)與彈性保留區(flexible reserve zone) (自花軸基部算起 70-75%節點數，具 90%偏雌花及 90%果實)。共存之早、晚生果實之花期相差三週，然晚生果因較高的夜溫致使生育期較短，故成熟期只差一週；早生果之鮮重雖為晚生果之 1.5 倍，但二者生育模式相似，且均達商業販售標準。綜上，'玉荷包'純花序之果實生產較帶葉花序為佳，純花序可依結構上不同功能區域及目的優化疏花序策略，單一花序異熟果實(asynchronous maturity fruits)者其晚生果之留存與否視生產目標而定；文中亦討論未來研究方向。

關鍵字：純花序、帶葉花序、二出聚繖小花序、側花軸、偏雌花、花序結構、聚類分析、疏花序、兩波偏雌花、異熟果實、果實品質

引言

荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)為台灣重要果樹產業，我國亦為世界主要荔枝生產國之一(顏等，1984；Menzel, 2005)。113 年台灣地區收穫面積 9,481 公頃、產量 45,137 公噸，產值達新台幣 55 億元(農業統計年報，2025)。

台灣最主要的栽培品種仍為豐產、穩產、品質中等及適應性強的'黑葉'，但也因此造成產期集中、品質待提昇及生產過剩等問題，故在「適地適種」的前提下，於南部推廣早熟之'玉荷包'及於中部推廣晚熟之'糯米糍(73-S-20)'等優質品種，俾分散產期，遂成為產業調整方向(顏等，1984；Chang et al., 2009)。

荔枝花芽分化仰賴成熟葉片感應涼溫刺激(Stern and Gazit, 2003)，惟對低溫的需求各依品種而異(≦15-20°C，6-12 週)(張，1999)；Hwang et al. (2024)指出，台灣地區平均氣溫低於 16°C 的天數與荔枝產量具高度相關性。'玉荷包'因誘導花芽分化之涼溫(≦20°C)累積需求量較低，在暖冬下仍具備一定的開花能力，必要時也可向中北部擴展產區的潛力，吻合氣候變遷(climate change)下之產業布局，加上開花、結實管理技術的改進，栽培規模已增至 35-40%，僅略遜於黑葉(鄧和方，2012；李和張，2022)。

荔枝具間歇性抽梢(flush cycle)特性，其花芽屬混合芽(mixed bud)，當年生枝條最後一次營養梢經充足涼溫誘導後，頂芽分生組織同時分化葉原基(leaf primordia)與花序原基(inflorescence primodia)(李，2008；Batten and McConchie, 1995)，繼而萌發為短縮之生殖枝(reproductive shoot)，並於各節點著生初生葉(rudimentary leaf)及側花軸原基(paracladia primodia)[即為田間可辨識之白點(whitish millets)]，是花芽誘導完成的重要形態指標(林，1987；Huang and Chen, 2005)。接續之涼溫門檻及暖溫波動，共同決定後續花序發育的二種類型(types)：當涼溫持續，則初生葉因啓動細胞程序死亡(cell program death)、抗氧化物質減少或 ABA 含量增加而脫落，成為純花序(generative or leafless inflorescence)(Zhou et al., 2008; Wang et al., 2022)；如為暖溫，則初生葉不脫落，並與側花軸同步發育而形成帶葉花序(leafy inflorescence) (Stern and Gazit, 2003; Davenport and Stern, 2005)。

近年來受冬溫暖化(warning)之影響，荔枝帶葉花序的比例已大幅增加並已形成常態，摘除帶葉花序之葉片已成果農慣行農法，但成本大幅增加，為此，農民於開花期間常面臨花序類型選擇與管理上的困擾，不同花序型態是否影響著果、果實產量與品質，仍待進一步闡明(張，2017)。

荔枝花序為二出聚繖小花序(dichasium)所構成之圓錐花序(panicle)，小花數由花序基部向頂端遞減(李，2014；Robbertse et al., 1995)。自花序原體形成後，花序主軸及側花軸(paracladium)長度隨溫度提高而伸長(張，1999)，均為無限型，但著生於後者之二出聚繖小花序為有限型，最終形成構造複雜、龐大的花序，如'玉荷包'每結果枝(bearing)之總花數可達 12,500 之多(張和林，2003)，遠高於糯米糍之 3,000-4,000 (張，2004)。因此，自 1990 年代以來，對'玉荷包'這類大型花序進行疏花序(inflorescence thinning)動作–於偏雌花盛花前，於花序基部往上或由頂端往下除去 50-60%側花序，以減少碳同化物的競爭進而增加偏雌花比例及留果率，已成為開花期例行管理作業，然其成效常依年份、氣候、產區、操作方式及果農經驗而異，且過去相關研究多採單變因設計，缺乏多變因之量化分析以由釐清花序結構(inflorescence structure)特徵與生殖指標，供優化疏花序之參考(Lee and Chang, 2026)。

荔枝之二出聚繖小花序，通常包含 1-3 級(order)結構(Robbertse et al., 1995)。但少數品種如'玉荷包'及'早大荔'其二出聚繖花序構造之級數可達 4-5 級，因此造成小花量的

大幅增加，也常有第二波偏雌花(晚花)的形成(李，2014; Chang et al., 2015; Stern and Gazit, 2003)，因而產生二波異熟果實(asynchronous maturity fruits)共存的現象，除採收不便之外，對彼此發育及品質的影響，已成爲重要的栽培問題，然已知仍十分有限(李，2014)。

本文回顧作者近年於荔枝花序發育類型、結實特性對後續開花品質、果實生產影響之試驗成果(Lee and Chang, 2019a; Lee and Chang, 2019b; Lee and Chang, 2026)，並說明如何藉以進一步改善開花結實期之果園管理、建議未來研究方向，以供各界之參考。

花序類型對‘玉荷包’荔枝花序品質與果實生產之影響

(Lee and Chang, 2019a；朱等，2020；朱等，2021)

近年來受冬、春季暖化之影響，‘玉荷包’荔枝萌生帶葉花序之比例逐年增加，而一般咸信純花序較有利於著果，因此農民每每進行花序除葉之作業，而成效不一、所費不貲，造成產業問題(張，2017)。本研究以臺灣中部果園之十年生田間植株爲材料，比較純花序和帶葉花序之供碳能力、花序品質及果實生產之差異，以爲果園花期管理之參考。

結果顯示，純花序與帶葉花序之結果枝直徑差異不顯著，兩花序之總葉片數及各梢次葉片數相仿，二者供碳能力無差異。純花序之總花數、偏雌花數及偏雌花率皆顯著多於帶葉花序，並爲其 1.3-1.7 倍。純花序結果枝之著果數及每果穗產量爲帶葉花序之 2.2-3 倍，而二者之著果率(1.1-1.8%)無差異。採收時二者之單果重、果皮重、果肉重(率)、種子重及 TSS 含量等果實品質無差異。純花序確較帶葉花序更有利於後續之果實生產，如何減少後者之發生或更有效率的除葉，已爲當務之急。

本研究證實，‘玉荷包’純花序有較多的偏雌花數(率)，因而花序品質之生殖及果實產量較優於帶葉花序者，後續果實生育與結果枝供源無關。其帶葉花序葉片與花序同步發育，未成熟之新葉(soft-red leaves)不僅與分化中的花序及小花競爭養分，更影響樹液內植物荷爾蒙變動(fluctuation)，而抑制花序發育故減少小花數。近年來受全球氣候變遷及暖化之影響，帶葉花序漸增已成常態，將之早期除葉應是增產的可能手段，如何省工除葉將是未來研究重點。

利用因素分析(factor analysis, FA)與 K-means 聚類法(clustering)分析‘玉荷包’荔枝純花序結構以爲制定疏花序策略之參考

(Lee and Chang, 2026；李和張，2022)

疏花序是荔枝於開花初期常見的管理技術，尤其適用於如‘玉荷包’這類花序大而複雜的品種，可經由減少碳同化物的競爭、增加偏雌花比例及著果率而改善結實，然成本高且成效常依年份、氣候、產區、疏花部位及果農經驗而異(張和林，2003；李，2007；Wu et al., 2001; Jiang et al., 2012; Chen et al., 2013)。過去疏花序之研究多採單變因設計，缺乏多變因量化分析之結果，以供優化本作業之參考。本研究透過分析純花序側花軸(副軸)節點層級的生殖指標(小花分布、花性、留果數及果實品質等)，建立一套新穎、資料導向(data driven)且量化分析花序結構特徵。於臺灣中部果園標記純花序、共計 107 個側花軸節點，量取花序軸與側花軸長度、每個節點之花數、花性分布及留果數，嗣經 FA(因素分析)將側花軸結構特徵簡化爲少數關鍵因素，繼以 K-means 聚類分析分類花序片段(segment)，最終整合多變數節點層級資料。

結果顯示，每純花序之長度爲 34.4 - 41.1 公分，包含 34 - 37 個節點，花數 4,675 - 7,498 朵，偏雌花比例爲 6.0 - 8.9%，留果率爲 2.8 - 6.7%，單波及雙波開花的兩個因素可解釋總變異量分別爲 78.435 和 79.953%。依據 FA 與 K-means 聚類分析，確定花序軸

上核心區(core zone)與彈性保留區(flexible reserve zone)的閾值，分別位於軸長從基部起算 41.4 - 50.2%與 71.9 - 76.6%之節點數及長度，前者區段包含至少 70%偏雌花及 80%果實，而後者均超過 90%，結果可優化疏花序作業，可供保守型與積極型果園管理之參考。

採取保守疏花策略，保留約 80%的花序長度(即彈性保留區閾值)即可最大化偏雌花保留並維持高留果率；如優先考量果實大小與提升品質時，可採取較積極的疏花方式，只保留花序基部 50% (即核心保留區)。在第二波花期後，彈性與核心保留區的閾值可分別下調至約 70 與 40%。果農亦可根據初次疏花結果，進一步調整保留的花序軸長，以減少在保留區內的養分競爭。本試驗首次量化純花序結構及生殖指標，以供疏花序之參考。未來仍需確認多波偏雌花期表現，並對帶葉花序進行研究。試驗成果亦可供同屬圓錐花序果樹，如龍眼、芒果、紅毛丹、腰果等果樹開花及結實期管理及後續研究之參考。

單一花序上兩波偏雌花共存對‘玉荷包’荔枝異熟果發育與品質之影響 (Lee and Chang, 2019b；朱等，2020)

近年來‘玉荷包’之結實與產量雖已漸穩定，然因二出聚繖花序之級數(分支數)衆多，導致單一花序產生二波異熟偏雌花(第一波、第二波)及其果實(早生果、晚生果)共存之現象且日趨普遍，造成農民留果與採收上之衝擊與混淆。爲釐清此問題，本試驗於臺灣中部果園之十年生田間植株爲材料，選定植株具 3 次連續生長營養梢(具 20-26 葉片)之結果枝爲樣品，並以單一果穗上之單波早生果(ES)、單波晚生果(LS)、兩波共存之早生果(ET)及兩波共存之晚生果(LT)等四種型態果實爲材料(ET 和 LT 於同一果穗)，探討：(1)果實胚囊內液態胚乳消長(液態胚乳隨果實初期發育而增加，但隨種子成熟及果肉發育而消失)、果實生長曲線與生育模式、積貯強度表現量(primary sink strength quantity)及採收時品質【果重、種子重、果肉總可溶性固形物含量(糖度)..等】；(2)果實生長週期(著果至成熟)與溫度之關係、估算累積熱單位(>14°C)量等，俾瞭解單一果穗內因第二波偏雌花所導致二波共存之早、晚生果實，是否改變彼此的生育及品質。

結果顯示：(1)單一花序內早、晚兩波偏雌花之盛花期相距 3 週，惟因早生果(ES, ET)生育週數爲 14 週、晚生果(LS, LT)爲 12 週，二者採收日期僅差距 1 週；(2)四種果實之發育均屬單 S 曲線，生育模式亦相似，採收時均具經濟價值，但早生果果重優於晚生果(37.6 g vs 25.2 g)，二種早生果間及晚生果間無差異；(3) ET 因較晚生果具有較高的生長速率及積貯強度表現量、較長的果實發育期(因初期溫度較低)及液態胚乳存留期、果肉發育期較高的累積熱單位量等，故果重較之增加約 50%，且因其果肉糖度較 ES 爲高(18.5% vs 17.7%)，在四種果實型態之中品質最佳；(3)晚生果因其液態胚乳較早生果者消失爲快，故其種子重較之略低(1.1-0.9 g vs 1.6-0.9 g)；(4)相較於早生果，晚生果因果皮生育期較高的夜溫及果肉生育期較低的累積熱單位量，使其生長速率及積貯強度表現量降低，進而縮短生育週數，並獲得較小的果實；(5) LT 的存在可增加 ET 的積貯強度表現量，並助益其發育。

本研究證實，於共存之異熟果實中，早生果之鮮重雖爲晚生果之 1.5 倍，但二者均達商業販售標準，溫度及生長速率影響‘玉荷包’果實生育。本研究另外發現，在供源充足情況下，晚生果的存在可增加早生果的積貯強度，進而助於早生果之發育。試驗成果可供重新評估荔枝單一花序異熟果實之晚生果之留存與否、果實生育及發展結實期果園栽培管理策略之參考。影響荔枝晚花發生的因子尚須探討，如何調控或減少晚花發育將是未來研究的重點。

結語

目前之田間試驗已證實'玉荷包'荔枝純花序之花序開花品質與果實生產優於帶葉花序，爲來可接續探討如何以栽培技術減少後者之比例、確認除葉可否改善花序開花品質—如有效應如何在不影響花性比例下，開發化學藥劑除葉，以減少人工成本。

雖已建立純花序結構與生殖表現之量化指標，以辨識花序主軸上不同的區域作爲優化疏花序作業之依據，但未來仍需對日益增加的帶葉花序進行類似分析，因其花葉並存、結構與生殖表現更複雜，而缺乏花序管理的生理基礎。

單一花序異熟果實者其晚生果較早生果小，但仍具基本商業品質，其留存與否視當年早生果之結實狀態與果園生產目標而定。荔枝同一花序晚生花發生的生理機制尚不明瞭，如何調控或減少晚生花發育，以及探討異熟偏雌花之構造與異熟果實間 sink/source 關係，將是未來研究的重點。

上述相關主題之後續試驗刻正進行中。

致謝

本系列研究曾承農糧署[102 農科-9.2.2-糧-Z1(7)]、國科會[NSC101-2313-B-005-002、NSC102-2313-B-005-002]計畫補助，彰化縣芬園鄉簡文章先生、黃蕾女士長年提供荔枝果園作爲試驗場地，謹致謝忱。

聲明

本文主要內容綜合自作者的三篇研究報告(Lee and Chang, 2019a、2019b、2026)，部分內容亦參考作者近年於研討會專刊刊載之內容(朱等 2020、朱等 2021、李和張 2022)，特此聲明。

參考文獻

朱堉君、李昱錡、潘美汶、張哲嘉。2020。荔枝結實生理之研究、應用及產業調適, p. 121-136。刊於：張佰滄、江一蘆主編。臺灣熱帶與亞熱帶水果產業發展研討會專刊。國立嘉義大學園藝系。臺灣嘉義。

朱堉君、李昱錡、陳祈男、張哲嘉。2021。高溫逆境衝擊紅龍果與荔枝生殖生長的評估、應用及芻議, p. 55-71。刊於：吳庭嘉、葉文彬、劉惠菱、陳盟松、徐錦木、陳裕星、李紅曦主編。2021 中部果樹產業因應氣候變遷之調適與策略發展研討會論文輯。行政院農業委員會臺中區農業改良場。臺灣臺中。

李雪如。2007。玉荷包荔枝疏花對著果及果實品質之影響(摘要)。台灣園藝 53(4):518-519。

李建國。2008。荔枝學。中國農業出版社。中國北京。

李昱錡。2014。'玉荷包'荔枝花序結構、型態、兩波偏雌花對果實生產之影響及種子與胚發育之研究。國立中興大學園藝學系碩士論文。臺灣臺中。

李昱錡、張哲嘉。2022。'玉荷包'荔枝花序發育與結實特性影響果實生產之研究進展與因應, p.81-95。刊於：張哲嘉主編。2022 臺灣果樹研究與發展研討會專刊。國立中興大學園藝學系。臺灣臺中。

林宗賢。1987。荔枝開花與花序型態, p. 65-76。刊於：張林仁主編。園藝作物產期調節研討會專集。臺中區農業改良場。臺灣彰化。

張哲瑋。1999。荔枝開花之調控。國立臺灣大學園藝學研究所博士論文。臺灣臺北。

張哲嘉。2004。玉荷包與糯米糍(73-S-20)荔枝結實之研究。國立台灣大學園藝學研究所博士論文。臺灣臺北。

張哲嘉。2017。提升荔枝產量與品質之生理基礎及具體措施：以'糯米糍'爲例, p. 5-33。106 年大臺中外

銷荔枝栽培模式與加值保鮮關鍵技術開發講習會課程講義。國立中興大學農業暨自然資源學院園藝學系。臺灣臺中。
張哲嘉、林宗賢。2003。疏花序對玉荷包荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)花性、著果與果實品質的影響。中華農學會報 4(5):418-428。
農業部。2025。農業統計年報(113 年)。臺灣臺北。
鄧永興、方信秀。2012。氣候變遷下之荔枝栽培新模式, p. 39-46。刊於：方信秀、鄧永興、李文立主編。臺灣荔枝產業佈局研討會專刊。行政院農業委員會農業試驗所。臺灣臺中。
顏昌瑞、廖玉琬、田永柔。1984。臺灣荔枝品種及其改良。中國園藝 30(4):210-222。
Batten, D.J.; McConchie, C.A. Floral induction in growing buds of lychee (*Litchi chinensis*) and mango (*Mangifera indica*). Aust. J. Plant Physiol. 1995, 22(5), 783-791.
Chang, J.C.; Lin, T.S.; Yen, C.R.; Chang, J.W.; Lee, W.L. Litchi production and improvement in Taiwan. J. Agr. Assoc. Taiwan 2009, 10(1), 63-76.
Chang, J.Y.; Tang, L.; Chen, C.C.; Zhang, Y.T.; Chen, C.L. Prediction of inflorescence emergence in 'Yu Her Pau' litchi under climate change using an optimised model. Food Energy Secur. 2025, 14, e70032.
Chang, J.Y.; Chang, Y.A.; Tang, L.; Chang, J.W. Characterization of generative development in early maturing litchi 'Early Big', a novel cultivar in Taiwan. Fruits 2015, 70(5), 289-296.
Chen, P.A.; Roan, S.F.; Lee, C.L.; Chen, I.Z. The effect of temperature during inflorescence development to flowering and inflorescence length on yield of 'Yu Her Pau' litchi. Sci. Hortic. 2013, 159, 186-189.
Davenport, T.L.; Stern, R.A. Flowering. In: C.M. Menzel and G.K. Waite (eds.), Litchi and longan: Botany, production, and uses. CABI, Wallingford, UK. 2005. p. 87-113.
Huang, H.B.; Chen, H.B. A phase approach towards floral formation in lychee. Acta Hort. 2005, 665, 185-194.
Hwang, Y.W.; Hsu, Y.H.; Chen, Y.M. Impact of flowering temperature on litchi yield under climate change: a case study in Taiwan. Climate Services 2024, 34, 100483.
Jiang, S.Y.; Xu, H.Y.; Wang, H.C.; Hu, G.B.; Li, J.G.; Chen, H.B.; Huang, X.M. A comparison of the costs of flowering in 'Feizixiao' and 'Baitangying' litchi. Sci. Hortic. 2012, 148, 118-125.
Lee, Y.C.; Chang, J.C. Leafless inflorescence produces more female flowers and fruit yield than leafy inflorescence in 'Yu Her Pau' litchi. HortScience 2019a, 54(3), 487-491.
Lee, Y.C.; Chang, J.C. Altered development, quality and sink strength in asynchronous maturing fruits produced from the two-sequence female flowers inflorescence/cluster of 'Yu Her Pau' litchi. Sci. Hortic. 2019b, 249, 131-142.
Lee, Y.C.; Chang, J.C. Characterizing leafless inflorescence structure for thinning strategies in 'Yu Her Pau' litchi using factor analysis and K-means clustering. Sci. Hortic. 2026, 355, 114534.
Menzel, C.M. Photosynthesis and productivity. In: C. M. Menzel and G. K. Waite (eds.), Litchi and longan: Botany, production and uses. CABI, Wallingford, UK. 2005. p. 153-182.
Mustard, M.J.; Liu, S.Y.; Nelson, R.O. Observations of floral biology and fruit-setting in lychee varieties. Proc. Fla. State Hort. Soc. 1953, 66, 212-220.
Robbertse, H.; Fivaz, J.; Menzel, C. A reevaluation of tree model, inflorescence morphology, and sex ratio in lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). J. Amer. Soc. Hort. Sci. 1995, 120(6), 914-920.
Stern, R.A.; Gazit, S. The reproductive biology of the lychee. Hort. Rev. 2003, 28, 393-453.
Wang, C.; Liu, H.; Huang, L.; Chen, H.; Lu, X.; Zhou, B. *LcNAC13* is involved in the reactive oxygen species-dependent senescence of the rudimentary leaves in *Litchi chinensis*. Frontiers Plant Sci. 2022, 13, 886131.
Wu, D.; Lin, X.; Ye, Q.; Wang, W. Improvement of fruit set in secondary panicle of "Feizixiao" litchi by removal of the primary panicles. 1st Intl. Symp. Lichi, and Lomgan. Guangzho, China. 2001. p. 42 (Abstr. C-11).
Zhou, B.; Chen, H.; Huang, X.; Li, N.; Hu, Z.; Gao, Z.; Lu, Y. Rudimentary leaf abortion with the development of panicle in litchi: Changes in ultrastructure, antioxidant enzymes and phytohormones. Sci. Hortic. 2008, 117(3), 288-296.

Research progresses, implications, and prospects on the reproductive growth in 'Yu Her Pau' litchi from a cultivation physiology perspective

Yu-Chi Lee[1] and Jer-Chia Chang[2,*]

[1] Assistant Researcher, Section of Crop Improvement, Taichung District Agricultural Research and Extension Station, MOA, Changhua, Taiwan, Republic of China.; klyc1512@tcdares.gov.tw
[2] Professor, Department of Horticulture, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, Republic of China.; jerchiachang@dragon.nchu.edu.tw
* Correspondence: jerchiachang@dragon.nchu.edu.tw

Abstract

Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) is an economically important fruit crop in Taiwan, and 'Yu Her Pau' is a major cultivar because of its excellent fruit quality and relatively low cool-temperature requirement for floral induction, which meets production under climate change. However, this cultivar still suffers from various inflorescence types and inferior fruit set, resulting in high production costs and a relatively high cultivation threshold for growers. From a cultivation physiology perspective, this article reviews the inflorescence types of 'Yu Her Pau' litchi, quantifies leafless inflorescence structure using the number of paracladium node and reproductive indices, and evaluates the effects of two-sequence female flowers emergence within a single inflorescence on fruit production, with the aim of providing a reference for fruit management and subsequent studies. Leafless and leafy inflorescences have similar carbon supply potential at the bearing shoot level; however, leafless inflorescences exhibit superior inflorescence quality, greater numbers of retained fruits per panicle, and higher cluster weight, whereas fruit set percentage and fruit traits do not differ between the two inflorescence types. Factor analysis (FA) combined with K-means clustering analysis divides the lateral axis (paracladium) nodes into a core zone (40 - 50% of the total nodes counted from the base of the inflorescence axis, containing approximately 75% of female flowers and 80% of fruits) and a flexible reserve zone (70 - 75% of the total nodes from the base, containing approximately 90% of female flowers and 90% of fruits), which can be used to establish management strategy during flowering period. Within the same inflorescence, early- and late-developing fruits differ in anthesis by about 3 weeks, but late fruits experience a shorter developmental period owing to higher night temperatures, therefore the harvest time differs by only about 1 week; early fruits have a fresh weight about 1.5 times that of late fruits, yet both fruit types show similar growth patterns and meet commercial market standards. Overall, fruit production

is superior in leafless inflorescences compared with leafy inflorescences in 'Yu Her Pau' litchi, and leafless inflorescences allow optimization of inflorescence-thinning strategies according to functional zones and production objectives, while the decision to retain late fruits in asynchronous maturity panicles should depend on specific market targets. Future needs on the researchers of the reproductive physiology in 'Yu Her Pau' litchi are also discussed.

Keywords: leafless inflorescence; leafy inflorescence; dichasia; paracladium; female flower; inflorescence structure; K-means clustering; inflorescence thinning; two-sequence female flowers; asynchronous maturity fruits; fruit quality

氣候變遷下龍眼之催花調適技術及產期調節

朱彧瑩[1,*]、柯昱成[1]、張哲瑋[2]

[1]農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所園藝系 助理研究員
[2]農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所 研究員兼分所長
*聯繫人 e-mail: yuyingchu@tari.gov.tw

臺灣龍眼(*Dimocarpus longan* Lour.)產業長年受限於產季過度集中，近年來受到極端氣候導致暖冬開花不良的挑戰。自 1998 年研究發現氯酸鉀($KClO_3$)可取代涼溫啓動開花機制後，該技術已在泰國、越南及中國等產區引發產業革命，顯著提升了非季節性的產量。催花的生理與分子機制極為複雜，主要透過四大面向作用：包含荷爾蒙調節，使頂芽細胞分裂素增加並降低吉貝素含量；與此同時改變碳水化合物代謝，增加可溶性糖分以提供能量；再者是引發氧化逆境，產生活性氧訊號以活化開花基因；此外也會抑制硝酸還原酶的活性。在產業應用上，農民可透過土壤灌注、葉面噴施或樹幹注射，彈性調節產期為早熟或反季節生產，藉此規避汛期天災並穩定市場價格。考量到臺灣多為坡地老樹且氯酸鉀具爆炸與毒性風險，用量少的葉面噴灑方式可能是較適合的發展方向，以兼顧催花效果、用藥安全與環境永續。目前研究單位正積極尋求催花藥劑的合法化途徑，如評估使用已登記藥劑氯酸鈉的可行性，並致力於研發穩定的夏季催花技術，目標是達成龍眼的周年生產，進一步強化產業因應氣候變遷的調適韌性。

關鍵字：氯酸鉀、周年生產、天然災害

引言

臺灣龍眼的產季集中於 7 月至 10 月，以 8 月爲最多。因龍眼耐旱、適應性廣之特性，早期作爲造林樹種或木材使用，果園多處於山坡地。傳統許多果園以生產加工龍眼乾爲主，管理方式多屬粗放栽培，近年來以鮮果爲主精緻栽培的果園才有陸續增加。龍眼需要一段時間的低溫期誘導花芽分化，一般認爲是 15-22℃約 8-10 週(Paull and Duarte, 2011)，主要產區在亞熱帶地區，熱帶地區低溫需求累積不足可能會抑制某些品種的自然開花，並可能影響其產量(Hau and Hieu, 2020)，但催花技術的應用使熱帶地區龍眼栽培面積急速增加。以往由於龍眼產季適逢汛期，常遭遇的的天然災害以颱風爲主。然而，近年來受到極端氣候之影響，亞熱帶產區的冬季常有涼溫不足情形發生，例如 2019 年暖冬造成開花不良，整體產量銳減，而 2022 年也有發生部分地區開花不良之情形，受到暖冬及前一年豐產所影響，也因此衍生出許多天然災害救助問題。

龍眼催花技術的發現

龍眼催花技術早在 1998 年由屏東科技大學顏昌瑞教授即發現了氯酸鉀($KClO_3$)可以取代涼溫，使龍眼啓動開花機制，達到催花的效果(顏，1999；顏等，2001; Yen et al., 2005)。顏教授早年任職於嘉義試驗分所時發現寺廟旁的龍眼樹結果豐碩，調任至屏科大後持續相關研究，確認是鞭炮中的氯酸鉀成分促進龍眼的開花與結果。但早期研發催花技術並沒有在臺灣廣泛運用，主因是氯酸鉀爲管制藥品，取得數量有限，初期開發的施用方法是土壤施用，每株所需用量多達 1 公斤，有安全風險疑慮，另臺灣的龍眼多種植於坡地，且樹齡較久，根系深，氯酸鉀施用至土壤後不易吸收，殘效較長，導致催花效果不整齊，或易造成樹勢衰弱等負面效果(蔡等，2010)。

然而在該技術發表後的最初十年間，它顯著提升了龍眼的全球種植面積與產量，並徹底翻轉了龍眼產業，改變了龍眼市場原本週期短、收穫期過度集中的現象。在中國海南省與廣東西部，大部分果園已大量採用氯酸鉀催花技術，而在越南與泰國，約有 50% 的鮮果產量來自氯酸鉀所誘導的非季節性開花(鄭等，2019；Huang et al., 2021; Hung et al, 2020; Jaroenkit and Manochai, 2020; Manochai et al., 2005)。

催花技術的原理

氯酸鉀是一種強氧化劑，能取代低溫誘導龍眼開花(Manochai et al, 1999; 2005; Huang et al., 2021)，至今已應用超過二十年，但其作用機制至今仍未明確。根據現有的研究結果，其作用機制主要可從荷爾蒙調節、碳水化合物代謝、氧化逆境反應及硝酸還原抑制 4 個面向來解釋。

1. 荷爾蒙調節

較高的 CK/GA 比值可能是氯酸鉀催花的關鍵。Hegele(2004)指出在氯酸鉀催花後，頂芽中細胞分裂素(CKs)持續增加，離層酸(ABA)和吉貝素(GAs)則沒有被影響。在氯酸鉀處理後所有組織中的 CK 含量增加，GA 含量降低，根部的吲哚乙酸(IAA)和 ABA 也有增加情形(賴等，2011；Wei, 2012)。Potchanasin 等(2009a; 2009b)指出氯酸鉀訊號使枝條中玉米素(ZT)的含量升高，同時頂芽及鄰近側芽下方組織中 N6-異戊烯基腺嘌呤/異戊烯

基腺苷(iP/iPA)型細胞分裂素含量增加。成熟葉片可能參與 iP/iPA 轉化爲玉米素/玉米素核苷（ZT/ZR）的過程(Tiyayon et al, 2010)，頂芽中細胞分裂素的增加與枝條中 iP/iPA 增加有關(Hegele et al., 2010)。在花芽可見(小紅點)出現時，植株體內荷爾蒙的又再次產生變化如：葉片 GA_3 含量初期下降，花芽分化時上升、葉片中 IAA、CK 和乙烯的含量也顯著升高、頂芽的 ABA 增加；在頂芽中，CK 含量顯著增加外，水楊酸(SA)和乙烯含量也同時升高；GA 的含量則顯著降低(Potchanasin et al., 2009b,Chang et al., 2015, Sringarm et al., 2009; Hegele et al., 2008, 楊等，2019)。

2. 碳水化合物代謝與轉運

氯酸鉀處理後，龍眼葉片碳氮營養產生變化，包括澱粉含量減少，可溶性糖、果糖、葡萄糖、蔗糖和可溶性胺基酸的含量增加(常，2010)。在頂芽和枝條中，也觀察到澱粉、蔗糖、可溶性糖和可溶性氨基酸含量的類似增加情形，然而，此狀況與冬季低溫下自然開花情形不同，後者通常花芽分化後期糖和澱粉含量下降，而氯酸鉀處理使花芽分化後總糖和澱粉含量卻增加了一倍(李等，2013；Suthon et al., 2012)，表示兩者可能存在不同的誘導途徑。

3. 氧化逆境反應

氯酸鉀處理使龍眼葉片光合作用速率、氣孔導度、CO_2交換速率、蒸散速率和葉片水勢下降，葉綠素 a、葉綠素 b 和葉黃素含量降低，影響超過 10 日(李，2020；Lu et al.,2017; Sritontip et al., 2012)。葉綠體中類囊體膜(thylakoid membranes)與葉綠餅(grana)的結構亦受到破壞(楊等, 2015a; Huang et al., 2006)。施用氯酸鉀 1 個月後，葉片與頂芽中脯胺酸及丙二醛含量顯著增加，超氧化物歧化酶(SOD)與過氧化物酶(POD)的活性亦顯著升高，植株體內活性氧(ROS)顯著累積(楊等, 2015)。此外，根系活力亦顯著下降(Huang et al., 2006)。逆境反應過程中產生的 H_2O_2 等活性氧可能作爲花芽誘導的重要訊號，促進 *APETALA 1*(*DlAP1*)和 *FLOWERING LOCUS T* (*DlFT*)的表達(洪等，2015；楊等, 2015b)。

4. 硝酸還原抑制

氯酸鹽和硝酸鹽具有共同的運輸機制。氯酸鹽和硝酸鹽。Hegele 等(2010)指出施用抑制硝酸還原酶的化學物質可避免氯酸鉀處理後淨二氧化碳交換率降低，但會減緩龍眼中花芽的誘導，顯示氯酸鉀代謝中間產物對龍眼體內荷爾蒙變化、訊息傳導有關鍵作用。

植物對氯酸鉀的吸收和轉運過程被認爲與硝酸鉀(KNO_3)的吸收和轉運途徑相似，在植體內是類似物，主要由硝酸還原酶(NR)和亞硝酸還原酶(NiR)參與(Guy, 1988; Chodera and Briskin, 1990)。兩者在植物吸收和同化過程中表現出競爭性交互作用，這個現象也常被用於評估作物的氮吸收、同化和訊號傳導(Kabange et al., 2020; Zhang and Chu, 2020; Karunarathne et al., 2021)。氯酸鉀進入植體後被代謝爲亞氯酸鉀($KClO_2$)、次氯酸鉀(KClO)、氯化鉀(KCl)和氧分子，其中亞氯酸鹽和次氯酸鹽等中間產物可導致植物葉片黃化、脫落，嚴重時甚至死亡，故高濃度的氯酸鉀可作爲除草劑或落葉劑使用(Hofstra, 1977; Labri et al., 1991; Thorell et al., 2003)。研究指出氯酸鉀於龍眼體內於處理後 5 天內迅速從根部轉運至葉片，並在 14 天左右達到高峰，隨後被代謝爲 KCl，其含量在 28 天達到高峰(陸，2005；李等，2009；Huang et al., 2006)。

龍眼處理氯酸鉀後會抑制其 NR 活性，其他多種氯酸鹽、亞氯酸鹽、和次氯酸鹽等

相似化學物質也能降低 NR 活性，也有誘導龍眼開花的效果，例如：氯酸鈉($NaClO_3$)、漂白水(次氯酸鈉 NaClO)、游泳池清潔劑(次氯酸鈣 $Ca(ClO)_2$)，但這些替代物在開花率和花序長度方面均不及氯酸鉀的效果(Matsumoto et al., 2007; Sritontip et al., 2005)。但 Manochai 等(2018)的調查顯示，在泰國北部，21.7%的種植者僅使用氯酸鉀，30%僅使用氯酸鈉，而 48.3%的種植者傾向於同時使用。僅使用氯酸鉀約 69.2%的受訪種植者採用土壤灌溉配合葉面噴施，然而僅使用氯酸鈉的受訪種植者約 88.9%採用葉面噴施，同時使用這兩種化學品的受訪種植者則會先用氯酸鉀進行土壤灌溉，然後再用氯酸鈉進行葉面噴施。Jaroenkita 和 Manochai(2020)提到兩種施用方法在誘導泰國龍眼開花方面沒有顯著差異，但由於氯酸鈉毒性較高，建議種植者更加謹慎使用，並降低其濃度。

而深入到分子層面，氯酸鉀刺激會激活一系列光週期途徑、GA 途徑、春化途徑、衰老途徑(age pathway)、自主途徑(autonomous pathway)、開花基因以及花器分生組織調控基因，顯示其誘導開花的過程中發生了激素與開花路徑基因的相互作用(Mei, 2025)。氯酸鉀處理後，頂芽的開花基因如 *DlFT*、*APETALA 1*(*DlAP1*)及 *LEAFY*(*DlLFY*)會顯著上調表現(洪等，2015; 楊等，2015b)。泰國的研究也指出 *DlFT1* 在處理後 11~18 天緩慢下降，但在花形態分化前一週迅速增加 4 倍，而成熟葉片中 *DlFT2* 與 *DlFT3* 的表達在不同時間點顯著下降，*DlAP1-1* 與 *DlAP1-2* 的表達顯著上調(Heller et al., 2014; Winterhagen et al., 2017; 2020)。黃等(2022)分析'石硤'龍眼於氯酸鉀處理後 2、6 與 30 天的頂芽轉錄體，鑑定出 24 個參與開花途徑的差異表達基因，其中春化途徑基因 *VERNALIZATION INSENSITIVE 3* (*DlVIN3*)及生理時鐘相關基因 *LATE ELONGATED HYPOCOTYL*(*DlLHY*)在 2、6 天上調，而其他生理時鐘相關基因 *GIGANTEA*(*DlGI*)和 *CONSTANS*（*DlCO*）則顯著下調，控制開花相關基因 *DlFT*、*DlAP1* 和 *DlLFY* 的表達在處理後 30 天花形態分化期間迅速增加。參與吉貝素途徑相關基因，例如 *GA REQUIRING 4* (*DlGA4*)、*DlGA5*、*REPRESSOR OF GA1-3-LIKE 1* (*DlRGL1*)、*SCFSL Y1* (*DlSLY1*) 和 *GIBBERELLIC ACID INSENSITIVE* (*DlGAI*)在第 2 天表達上調，*DlGA5* 和 *DlRGL1* 在第 6 天也表達上調，而 *DlGA4*、*DlRGL1*、*GA INSENSITIVE DWARF1* (*DlGID1*)和 *SLEEPY1* (*DlSLY1*)在處理 30 天後表達上調(Huang et al., 2022)。Li 等(2023)在氯酸鉀處理後 4 週對頂芽進行轉錄組定序分析，發現共有 2663 個差異表達基因(DEGs)顯著上調，其中包括 *APETALA 2*(*DlAP2*)、*AUXIN RESPONSE TRANSCRIPTION FACTOR 3* (*DlARF3*)和 *SQUAMOSA PROMOTER BINDING PROTEIN-LIKE 8* (*DlSPL8*)；而 *AGAMOUS* (*DlAG*)與 agamous-like 42 (*DlAGL42*)則下調。Wang 等(2022)報告了不同的結果，在氯酸鉀處理後芽體內生理時鐘相關基因 *DlLHY* 下調而 *DlCO* 上調，與黃(2022)相反；11 個龍眼 MADS-box 家族基因在氯酸鉀處理後 41 天與 54 天(花序分化期)顯著上調，包含 *DlAP1*、*DlMADS98*、*SEPALLATA1/2/3/4* (*DlSEP1/2/3/4*)、*DlAP3-1*、*DlAP3-2*、*PISTILLATA* (*DlPI*)、*DlAG*、*DlAGL6*。

龍眼催花技術的應用

氯酸鉀是目前龍眼產業中應用最廣、效果最穩定的催花藥劑，目前已廣泛應用於中國、泰國及越南等生產大國。泰國是應用最廣泛的國家，當地市場目前全年都能買到新鮮的龍眼(Subhadrabandhu and Yapwattanaphun, 2001)。

氯酸鉀催花後，龍眼樹的頂端分生組織可在 20~60 天內由營養生長狀態轉變爲生殖生長狀態(Manochai et al., 2005; Matsumoto, 2006)。在泰國清邁和中國海南省等熱帶地區，平均僅需 27 天即可完成花芽分化過程(楊等，2015a；Manochai et al., 2005; Winterhagen et al., 2020; Mei et al., 2025)。相較之下，在亞熱帶地區，中國廣西和福建省以及美國夏威夷，該過程大約需要 48 天(賴等，2011；Matsumoto, 2006; Mei et al., 2025;

Wei, 2012)。氯酸鉀可以透過土壤施用、葉面噴施及注射等三種方法施用(Manochai et al., 2005)。氯酸鉀主流的施用方法主要包括冠部滴水線處的土壤開溝條施或溶液灌根，但在部分地區也採用葉面噴灑與樹幹注射(Mei et al., 2025)。Manochai 等(2005)指出葉面噴施操作容易但易出現落葉等不良反應，效果不佳，而注射操作繁瑣，因此生產上建議採用土壤施用的方式。

土壤施用與灌根方式通常展現最高的開花率，以泰國之'E-Daw'品種爲例，於樹冠下施用氯酸鉀 4-8 g・m^{-2} 後灌水幫助根部吸收，即可以誘導開花，'Si-Chompoo'施用 1 g・m^{-2} 即可達 100%開花率(Manochai et al., 2005)。'E-Daw'品種可依照樹冠直徑調整施用量，直徑 3 米樹冠施用 50~150 g(約 7.1~21.4 g・m^{-2})，直徑 6 米樹冠施用 250~500 g(約 8.9~17.9 g・m^{-2})，直徑 10 米樹冠施用 600~2,500 g(約 7.6~31.6 g・m^{-2}) (Jaroenkit and Manochai,2020; Manochai et al., 2018)。

有些研究認爲葉面噴施整體效果較差(Manochai et al., 2005; Pan et al., 2019)，部分原因與苗株根系結構相關。根系較淺之高壓苗感應土施氯酸鉀之效率較佳，開花整齊度亦較高；相對的，樹齡較老的龍眼其根系較深，不易吸收土施之氯酸鉀，而降低催花效果(蔡等，2010；Huang et al., 2021)。噴施超過 2 g・L^{-1} 氯酸鉀會造成龍眼植株葉片受傷甚至落葉(Sritumtip et al., unpublished data)，後續試驗於熱季、雨季與涼季對'E-Daw'龍眼分別噴施氯酸鉀 1 g・L^{-1} 及 2 g・L^{-1}，以涼季之催花效果較佳，開花率爲 96.7%及 90%，雨季次之，開花率爲 61.7%及 63.2%，而熱季最差，開花率僅 12.5%及 11.7%(Manochai et al., 2005)。

對於大多數品種，適合催花處理的葉片年齡約 40~45d，此時葉片顏色由淺綠色變爲深綠色(Manochai, 1999)。然而，有些品種需要在更早的階段進行處理，例如越南品種'Long'、'TDB'和'XCV'需要在新葉呈淺綠色且 35 至 40 天大時進行處理(Hau and Hieu, 2020)。氯酸鉀的促花效果取決於植株冠層大小、施用方法及葉片發育階段。除了這些物理因素外，適宜的氣候條件亦需考慮(Subhadrabandhu and Yapwattanaphun, 2001)。龍眼葉片中碳含量較高 (> 50.93 mg/g) 的頂芽可被誘導開花，而碳含量較低 (< 37.4 mg/g) 的頂芽在非花期則無法被氯酸鉀誘導開花(Hong et al., 2014)。成熟葉片可能參與異戊烯基腺嘌呤/異戊烯基腺苷 (iP/iPA) 型細胞分裂素前體向活性玉米素/玉米素核苷 (ZT/ZR) 型細胞分裂素的轉化，因此葉片可能在花芽分化過程中扮演重要角色 (Potchanasin et al., 2009a；Tiyayon et al., 2010)。

適宜的氯酸鉀濃度能促進開花，然而過量濃度則可能導致開花減少、不開花或葉片灼傷(Ongprasert et al., 2010)。合適的濃度取決於樹冠大小、品種及季節 (Manochai et al., 2005; 2010)。建議的土壤灌溉用量可從樹冠直徑衡量，無需考慮樹高，因大部分龍眼樹的高度修剪成扁平樹冠，樹高不超過 5 公尺，而雨季土壤淋溶作用強烈，適當的施用量可提高以確保誘導效果(Manochai et al., 2018)。

儘管熱帶地區全年均能催花，不同季節效果仍有差異，旱季與涼爽季節效果較佳，(Manochai et al., 2005; Manochai, 1999; Potchanasin, 2009)。Pichakum 等(2020)指出雨季期間發生的花序分化常受到季節性「熱風」的負面影響，尤其是長度小於 5 cm 的花序，且在氣候變遷加劇下影響了反季節龍眼的產量。也有其他學者認爲，雨季催花不易係因雨水中氮濃度很高所導致(Jaroenkit and Manochai, 2020)。Manochai 等(2005)指出以土壤澆灌方式每月催花，以雨季開花率最低 (11.9%–50.9%)，而涼季與熱季的開花率較高 (77.5%–88.6%)。溫度也會影響花芽萌發時間，Manochai 等(2010)另一試驗顯示雨季(8 月)土壤施用氯酸鉀的開花率僅 78.5%，花芽於 22.5 天後出現，熱季(4 月)與涼季(12 月)開花率均爲 100%，花芽於 23.0 天即 45.4 天後出現。在泰國北部 11~12 月催花時經常有著果率低的問題，推測是由於開花期平均氣溫可能低於 15℃，影響花粉管的萌發，

建議避開此時催花或改用花粉管萌發率較高的'Biaokhiao'品種(Jaroenkit and Manochai,2020)。

多數品種均可透過氯酸鉀誘導花芽分化，包含臺灣的'粉殼'；中國的'石硤'、'儲良'、'鳳梨穗'、'松風本'、'福眼'；泰國的'E-Daw'、'Do'、'Si-Chompoo'和'Biew Kiew'；越南的'Tieu Da Bo' (TDB)、'Xuong Com Vang'(XCV)和'Xuong Com Rao'等(Hau and Hieu, 2020; Hung et al., 2020)。不同品種對氯酸鉀反應不一，例如 Hau 和 Hieu(2019)認為'E-Daw'需較高劑量之氯酸鉀。4 年生'E-Daw'在施用量分別為 4 g・m^{-2}與 8 g・m^{-2}時，開花率分別達 80%與 100%，而'Si-Chompoo'僅施用 1 g・m^{-2}即能達到 100%的開花率(Manochai et al., 2005)。越南湄公河三角洲地區'XCV'品種每米樹冠直徑需 24~36 g，'TDB'品種需20~40 g，而'E-Daw'品種需 40~60 g(Hau and Hieu, 2020)。在同一季節施用氯酸鉀時，'Biaokhiao'品種的開花時間較'E-Daw'品種長(Manochai et al., 2013)。熱帶龍眼'四季蜜'品種本身不需低溫即可開花，但使用氯酸鉀也有催花效果，可使栽培更有計畫與彈性(Mei et al., 2025)。

近年來，泰國種植者除了使用氯酸鉀外，也有人採用氯酸鈉($NaClO_3$)作為誘導反季節龍眼生長的措施，但由於氯酸鈉對植物的毒性更高，研究人員更傾向於使用氯酸鉀，研究報告所提供的氯酸鉀的建議使用濃度一般是基於試藥級藥品，因此農民在使用前也要注意所購買的藥品純度(Jaroenkita and Manochai, 2020)。在泰國，氯酸鉀被列為軍事物資，目前農業使用上由泰國農業部(DOA)管轄，歸類為獨立的分類－「農業有害物質」（Agricultural Hazardous Substances），受《有害物質法案》(Hazardous Substance Act B.E. 2535）列管。龍眼種植者必須獲得官方許可，方能自軍火庫購買與儲存(Jaroenkita and Manochai, 2020)。

搭配催花之栽培手段

在冬、春季噴施巴克素(Paclobutrazol；PP_{333}；多效唑)與益收(Ethrel)可以促進亞熱帶龍眼開花，Huang(1996)指出低濃度的巴克素(100~200 mg・L^{-1})已被證明能顯著促進花芽分化。而不須低溫即可開花的熱帶型龍眼，'四季蜜'龍眼於夏季噴施此組合亦可催花，進行產期調節(朱等，2011；邱等，2020)。催花後 7~10 天內下雨，容易使幼葉會大量萌發， Jaroenkit 和 Manochai(2020)的初步試驗結果認為可透過施用巴克素抑制，但仍需持續研究。

Hau 和 Hieu(2019)指出包括環割處理及使用氯酸鉀。土壤施用氯酸鉀催花，葉面同時噴施磷鉀肥及益收可提升'E-Daw'雨季催花時純花穗、偏雌花比例及著果率，並可以提前 1 週開花(Thongaon et al., 2013)。氯酸鉀可配合其他輔助措施以提升催花效率可使低產品種的開花率顯著提高超過 10%，例如拉枝、環剝、適度灌溉以及確保充足光照，CK、巴克素以及益收等生長調節劑的聯合使用亦能提高開花率(李，2003；陳，2004；陸，2005；Hau and Hieu, 2020; Chang et al., 2015; Sringarm et al., 2019; Sritontip et al., 2013)。

龍眼產期調節策略

目前氯酸鉀催花技術在產業上應用方式主要分成兩種(Mei et al., 2025)，第一種方式為培育早熟龍眼，促進其在正常生長季節提早開花，與正期果相比可使開花、結果及成熟期提前約 2~3 週，常用於冬季較寒冷的亞熱帶地區，例如：中國廣東省西部 2020-2021 年間早熟龍眼產量佔總產量的 64.03%(郭等，2023)。然而，提早開花和著果較容易受到春季低温的影響，在 2021、2022 年該地區早熟龍眼催花生產的果園均受到春季低溫影

響而降低產量(邵等，2013；郭等，2023)。

第二種方法是促進龍眼反季節開花，尤其適用於無明顯冬季的熱帶地區，例如中國海南省、泰國中部地區及越南南部湄公河三角洲地區(Mei et al., 2025)。透過氯酸鉀催花後果實可在約 6 個月後收穫，使農民能依據當地氣候條件與市場需求安排處理時間。此方法有助於避免市場供應過剩，並減輕低溫、暴雨及颱風等不利天氣對產量與市場價值的影響(Mei et al., 2025)。泰國、越南與中國等主要非當季龍眼產區已能全年開花並維持穩定高產量(鄭等，2019；Manochai et al., 2005)。泰國除 6~8 月收穫的龍眼以外，其餘全年供應的果實均來自氯酸鉀誘導的反季節開花，目前約有 50%栽培面積採用反季節生產方法，而其中在某些較溫暖地區，如：泰國東部和中部，幾乎所有的農民皆採用此技術(Jaroenkit and Manochai, 2020)。越南湄公河三角洲各省約 50%的龍眼種植依賴氯酸鉀生產反季節果實(Hung et al., 2020)。反季節果實價值較高，在 12 月下旬至翌年 2 月初市場需求旺盛，尤其春節市場需求高，但與此同時農民也需要較密集的果園管理(Jaroenkit and Manochai, 2020)。

泰國之土壤澆灌龍眼產業催花程序建議土壤澆灌 5~20 g・m^{-2}，花芽約於 21~24 天後萌芽，再 25~30 天後開花，催花至採收約需 6.5~7.5 個月；葉面噴灑建議 1 g・L^{-1} (Khao-Sumeru et al., 1999; Subhadrabandhu and Yapwattanaphun，2001)。在周年生產的海南省為了分散產期，各地區根據當地氣候條件調整了催花時間，南部與西部地區於 8~9 月催花，果實於隔年 3~4 月上市；中部與西北部地區則在 10~11 月處理，果實於隔年 5~6 月上市；東北部與雷州地區則在 11~12 月處理，果實於隔年 6 月下旬至 7 月上市(王，2008)。

目前較適用於臺灣龍眼產業的催花方式建議以葉面噴灑為主(圖 1)，因此法之單株用量少，用量的減少可以提升農民使用的意願及取得容易度，並減少了持有風險。在臺灣，氯酸鉀以葉面噴灑方式有效濃度約為 1-2 g・L^{-1}，相較過往土壤施用建議用量 1kg/株，大幅減少單株所需用量，配製 0.5~1 kg/500L 藥劑約可噴灑 30-50 株(視噴灑器具，動力噴霧耗水量較高)，對環境污染疑慮也大幅降低。朱(2020; 2021; 2024)指出於秋冬季節施用於末段成熟枝梢，成功率高，除了可以穩定植株的開花以外，亦可提早隔年的花期與採收期，錯開一般盛產季，增加農友的收益。而於初春(2 月上旬)催花則可穩定當年度龍眼的開花，適用於冬季抽梢植株或遭遇暖冬時的補救措施(朱，2022)。

圖 1. 目前適用於臺灣龍眼果園的催花建議流程。

氯酸鉀的影響

氯酸鉀的應用對人類健康和環境都構成潛在風險。就人類安全而言，氯酸鉀與易燃物混合時有爆炸性，在其購買、運輸、儲存和使用過程中都存在顯著的安全隱患(Department of Agricultural Extension(Thailand), 2021)。根據物質安全資料表，氯酸鉀氧化性固體屬於第 2 類，表示其氧化能力強；急毒性物質第 4 級，表示毒性相對輕，吞食有毒性；腐蝕/刺激皮膚物質第 3 級，表示有輕微刺激性；嚴重損傷/刺激眼睛物質第 2A 級，表示對眼睛刺激性大；水環境之危害物質第 3 級，表示其有慢毒性。

研究指出氯酸鉀在合理的施用濃度下其環境和生態風險相對較小。氯酸鉀施用後在

土壤中的殘留通常僅持續 15~30 天，在葉片中的殘留量可長達 5 個月，而過量使用氯酸鉀會導致葉片中的殘留量持續超過 8 個月，但在成熟果實中未檢測到氯酸鉀的顯著累積，該處理不會對下一季的開花和產量產生不利影響。然而，在三個月內施用兩次可能會降低開花率(李等，2009；Manochai et al., 2005)。Ongprasert 等(2002)分析表土中的氯酸鹽殘留量在處理後數天內達 136~340 mg/kg，50~55 天後降至 24.2~68 mg/kg，而影響蚯蚓活動的臨界濃度爲 34 mg/kg，肥沃土壤中氯酸鉀的分解速度較快，且使用稀釋的蜂蜜水可加速分解。過量施用氯酸鉀若隨雨水逕流至鄰近農田，會造成其他作物的氯酸鹽逆境，干擾其氮肥的吸收與利用，進而影響產量，而水果和蔬菜中殘留的氯酸鉀存在人類中毒的風險(Garrido et al., 2020)。Baubuom 和 Chatsantiprapa (2019)則認爲氯酸鉀與龍眼的開花和著果率之間存在特定的劑量效應關係，25 g/m^{2}即可促進開花，最大有效濃度應爲 43 g/m^2，過量施用會導致果皮中出現氯酸根離子、氯離子和鉀離子殘留，但果肉中的殘留量極低，不會對人體健康構成重大風險。

結語

催花栽培在世界上已成產業趨勢，此技術也是龍眼產業因應氣候變遷的利器。然而，國內目前尚無廠商開發氯酸鉀商品，申請登記於推薦用藥或農業資材，部分產區農會有協助農民代購原料，使產區農民取得容易度提升，也讓目前產業應用催花技術比例大增。目前農試所正積極尋找合法化途徑，以利產業發展，減少龍眼暖冬不開花的天然災害。氯酸鈉因作爲國內紅豆落葉劑，已有農藥商品申請並核准使用(52% SL)，參考泰國也有部分農民使用氯酸鈉催花，此藥劑或許是國內較容易合法化的催花劑途徑，然而目前國內外相關的學術報告大多使用氯酸鉀，適合國內的氯酸鈉的使用濃度及方法尚待研究。此外，目前也正積極研究如何於臺灣進行穩定的夏季催花，以達成周年生產之目標，產業發展極具潛力。

參考文獻

王光恩。2008。反季節龍眼生產實踐與探索。中國熱帶農業 (3):60-61。

朱彧瑩、柯昱成、張哲瑋。2020。氯酸鉀於龍眼催花之研究。臺灣園藝 66(增刊):47-48。

朱彧瑩、柯昱成、張哲瑋。2021。早秋季節施用氯酸鉀於龍眼催花效果之研究。臺灣園藝 67(增刊):92。

朱彧瑩、柯昱成、張哲瑋。2022。龍眼春季催花作爲調適栽培方法之研究。臺灣園藝 68(增刊):94-95。

朱彧瑩、柯昱成、張哲瑋。2024。內門地區龍眼秋季催花之研究。臺灣園藝 69(增刊):100。

朱建華、黃鳳珠、徐寧、彭宏祥、陸貴鋒、李冬波、秦獻泉。2011。「四季蜜」龍眼(*Dimocarpus longan* Lour. 'Sijimi')成花調控技術研究。中國農學通報 27(25):288–293。

李志強、邱燕萍、袁沛元、歐良喜、向旭。2009。龍眼園施用氯酸鉀促花對環境的影響分析初探。海峽兩岸荔枝龍眼產業發展研討會暨第 20 屆廣東省荔枝龍眼科技協作研討會論文集 2009:144–148

李志強、郭棟樑、袁沛元。2019。氯酸鉀對回縮修剪龍眼的促花效果分析。廣東農業科學 22:55–58

李建光、潘學文、郭棟梁。2019。泰國龍眼反季節栽培技術及對我國龍眼栽培的啓示 II。中國熱帶農業 2019(4):30-34。

李松剛。2003。氯酸鉀誘導龍眼(*Dimocarpus longan* Lour.)成花及其生理生化變化的研究。福建農林大學碩士學位論文。

李松剛、洪繼旺、張蕾、楊子琴。2013。正造與反季節龍眼成花碳素營養差異研究。廣東農業科學 40(24):43-45

李琳。2020。氯酸鉀處理對“石硤”龍眼（*Dimocarpus longan* Lour. 'Shixia'）開花結果和氧化脅迫相關基因表達的影響。廣西大學農業碩士學位論文。

林威、李金龍、楊耀祥。2012。氯酸鉀促進龍眼非時開花之效果。臺灣園藝 58(1):61-70。

洪繼旺、陳星星、李松剛、張蕾、楊子琴。2015。H_2O_2 和 NO 對反季節龍眼(*Dimocarpus longan* Lour.)成花及 *FT* 基因表達的影響。熱帶作物學報 36(11):2002–2006
柯昱成、方信秀、朱彧瑩、李雪如、張哲瑋、張嵐雁、陳盟松。2023。荔枝、龍眼。農作物天然災害損害率客觀指標:180-185。
蔡尚翰、白欣澤、顏昌瑞。2010。農業科技之探索：龍眼週年開花技術及其機制。農業世界 (324):10-15。
郭棟梁、韓冬梅、黃石連、王靜、呂新民、李建光。2023。2022 年廣東龍眼生產形勢分析。中國熱帶農業 110:5–13。
邱宏業、朱建華、丁峰、潘介春、秦獻泉、徐寧、李鴻莉、李冬波、彭宏祥、侯延杰、張樹偉。2020。四季蜜龍眼 *FLOWERING LOCUS T* (*FT*) 同源基因克隆及其表達分析。西南農業學報 33(2):226–232。
陳燕麗。2004。氯酸鉀對石硤龍眼反季節成花效應及其機理的研究。廣西大學碩士學位論文。
邵光時、鄧振權、楊清照等。2013。茂名「正季早」龍眼栽培技術Ⅱ。中國熱帶農業 2013(2):68-69。
鄭少泉、曾黎輝、張積森、林河通、鄧朝軍、莊伊美。2019。新中國果樹科學研究 70 年：龍眼。果樹學報 36(10):1414-1420。
顏昌瑞。1999。龍眼催花方法與週年生產。高雄區農業專訊 (28):14-15。
顏昌瑞、趙政男、張哲瑋、曾珍琦。2001。化學藥劑對龍眼開花之影響。中國園藝 47(2):195-200。
陸貴鋒。2005。氯酸鉀誘導龍眼反季節成花效應與機理的研究。廣西大學碩士學位論文。
陸潔梅。2005。氯酸鉀對龍眼生物學效應的生理研究。華南農業大學碩士學位論文。pp. 45–67.
賴瑞雲、林建忠、蘇明華、劉志成、謝志南。2011。氯酸鉀誘導龍眼成花根系內源激素水平及根系活力的變化。熱帶作物學報 32(2):225-228.
楊子琴、陳星星、張蕾、洪繼旺、陳業淵、李松剛。2015a。龍眼成花與氧化損傷的關係探討。熱帶作物學報 36(1):120-124
楊子琴、許眞、張蕾、洪繼旺、陳業淵、李松剛。2015b。H_2O_2 和 NO 對反季節龍眼(*Dimocarpus longan* Lour.)成花及 *AP1* 基因表達的影響。中國南方果樹 44(1):13–17。
楊子琴、黃旭明、陳業淵、洪繼旺、李松剛、羅劍斌、張蕾。2019。正造和反季節龍眼花芽分化過程中內源激素水平的变化。安徽農業科學 47(9):47-50。
常強。2010。龍眼反季節成花誘導與碳氮營養的關係研究。福建農林大學碩士學位論文。
農業部農業試驗所。2025/3/27。暖冬不愁龍眼沒開花！農試所改良氯酸鉀催花技術助農民穩產。kmweb.moa.gov.tw/theme_data.php?theme=news&sub_theme=variety&id=90714
農業農村部南亞熱帶作物中心。2024。中國荔枝、龍眼產業發展報告。中國熱帶農業 118:5–7。
Aung, P.P.; Traisuwan, N.; Chintakovid, W.; Tulyananda, T.; Pichakum, A. Bloom performances during rainy season of off-season longan (*Dimocarpus longan* Lour. ‘Phuang Thong’) grown at Samut Sakhon Province, Thailand. Nat. Life Sci. Commun. 2023, 22, 4–4.
Bangerth, K.F.; Potchanasin, P.; Sringarm, K. Hormonal regulation of the regular and ‘off-season’ floral induction process of longan (*Dimocarpus longan*). Acta Hortic. 2010, 863, 215–224.
Bao, S.; Hua, C.; Shen, L.; Yu, H. New insights into gibberellin signaling in regulating flowering in Arabidopsis. J. Integr. Plant Biol. 2020, 62, 118–131.
Baubhom, T.; Chatsantiprapa, K. Risk assessment for ingestion of off-season longan stimulated by potassium chlorate. Thai J. Pharm. Sci. 2019, *43*, 96–104.
Chang, Q.; Su, M.; Wu, S.; Wang, W.; Li, H. Effects of $KClO_3$ on hormones within leaves and apical buds during floral induction phase in longan. J. Hortic. Sci. 2015, 42, 332–340.
Chang, Q. Study on the Induction of off-season flowering in longan and its relationship with carbon and nitrogen nutrition. Thesis 2010, pp. 25–27.
Chodera, A.J.; Briskin, D.P. Chlorate transport in isolated tonoplast vesicles from red beet (*Beta vulgaris* L.) storage tissue. Plant Sci. 1990, 67, 151–160.
Department of Agricultural Extension (DOAE). "Safety recommendations for farmers using Potassium Chlorate." 20 Aug. 2021, https://doaenews.doae.go.th/archives/14403.
Garrido, Y.; Marín, A.; Tudela, J.A.; Truchado, P.; Allende, A. Chlorate accumulation in commercial lettuce cultivated in open field and irrigated with reclaimed water. Food Control 2020, 114, 107283.
Guy, M.; Zabala, G.; Filner, P. The kinetics of chlorate uptake by XD tobacco cells. Plant Physiol. 1988, 86, 817–821.
Hau, T.V.; Hieu, T.S. Induction of flowering in longan in the Mekong delta, Vietnam. Acta Hortic. 2020, 1293, 193–202.
Hegele, M.; Manochai, P.; Naphrom, D.; Sruamsiri, P.; Wünsche, J. Flowering in longan (*Dimocarpus longan* L.) induced by hormonal changes following $KClO_3$ applications. Eur. J. Hortic. Sci. 2008, 73, 49-54.

Hegele, M.; Naphrom, D.; Manochai, P.; Sruamsiri, P.; Bangerth, F. Control of flower induction in tropical/subtropical fruit trees by phytohormones using the example of longan and mango. Acta Hortic. 2006, *727*, 217–226.

Hegele, M.; Sritontip, C.; Chattrakul, A.; Tiyayon, P.; Naphrom, D.; Sringarm, K.; Sruamsiri, P.; Manochai, P.; Wünsche, J.N. Hormonal control of flower induction in litchi and longan. Acta Hortic. 2010, 863, 305-314.

Heller, W.P.; Ying, Z.; Davenport, T.L.; Keith, L.M.; Matsumoto, T.K. Identification of members of the *Dimocarpus longan* flowering Locus T gene family with divergent functions in flowering. Trop. Plant Biol. 2014, 7, 19–29.

Hofstra, J.J. Chlorate toxicity and nitrate reductase activity in tomato plants. Physiol. Plant. 1977, 41, 65–69.

Hu, G.; Wang, K.; Huang, B.; Mila, I.; Frasse, P.; et al. The auxin-responsive transcription factor SlDOF9 regulates inflorescence and flower development in tomato. Nat. Plants 2022, 8, 419–433.

Huang, X.M.; Lu, J.M.; Wang, H.C.; Zhang, C.L.; Xie, L.; et al. Nitrate reduces the detrimental effect of potassium chlorate on longan (*Dimocarpus longan* Lour.) trees. Sci. Hortic. 2006, 108, 51–56.

Huang, S.; Han, D.; Wang, J.; Guo, D.; Li, J. Floral induction of longan (*Dimocarpus longan*) by potassium chlorate: application, mechanism, and future perspectives. Front. Plant Sci. 2021, 12, 670587.

Huang, S.; Qiao, Y.; Lv, X.; Li, J.; Han, D.; et al. Transcriptome sequencing and DEG analysis in different developmental stages of floral buds induced by potassium chlorate in *Dimocarpus longan*. Plant Biotechnol. 2022, 39, 259–270.

Hung, N.Q.; Hung, V.V.; Hong, N.T.B.; Bay, D.T.B. Current status of longan production in Vietnam. Acta Hortic. 2020, 1293, 15–20.

Jaroenkit, T.; Buamasung, B.; Ussahatanonta, S.; Manochai, P. Effect of temperature, relative humidity and rainfall on leaf flushing, flowering and yield of longan grown in Chiang Mai province, Thailand. Acta Hortic. 2014, 1029, 169–175.

Jaroenkit, T.; Manochai, P. Current practices and research in offseason longan production in Thailand. Acta Hortic. 2020, 1293, 185–192.

Jaroenkit, T.; Manochai, P. Longan and lychee in Thailand: production, industry, research and development. Acta Hortic. 2023, 1447, 13–22.

Kabange, N.R.; Park, S.Y.; Shin, D.; Lee, S.M.; Jo, S.M.; et al. Identification of a novel QTL for chlorate resistance in rice (*Oryza sativa* L.). Agriculture 2020, 10, 360.

Khao-Sumeru, Y.; Sritontip, C.; Changenraja, S. Summary on the use of potassium chlorate and sodium chlorate for inducing off-season flowers in longan (*Dimocarpus longan* Lour.); Inst. Agric. Res. Train., Lampang. 1999.

Karunarathne, S.D.; Han, Y.; Zhang, X.Q.; Dang, V.H.; Angessa, T.T.; et al. Using chlorate as an analogue to nitrate to identify candidate genes for nitrogen use efficiency in barley. Mol. Breed. 2021, 41, 47.

Labrie, S.T.; Wilkinson, J.Q.; Crawford, N.M. Effect of chlorate treatment on nitrate reductase and nitrite reductase gene expression in *Arabidopsis thaliana*. Plant Physiol. 1991, 97, 873–879.

Lejay, L.; Gojon, A. Root nitrate uptake. Adv. Bot. Res. 2018, 87, 139–169.

Li, S.; Chen, H.; Hong, J.; Ye, X.; Wang, J.; et al. Chlorate-induced molecular floral transition revealed by transcriptomes. Open Life Sci. 2023, 18, 20220612.

Lu, J.; Yang, R.; Wang, H.; Huang, X. Stress effects of chlorate on longan (*Dimocarpus longan* Lour.) trees: changes in nitrogen and carbon nutrition. Hortic. Plant J. 2017, *3*, 237–246.

Matsumoto, T.K. Genes uniquely expressed in vegetative and potassium chlorate induced floral buds of *Dimocarpus longan*. Plant Sci. 2006, 170, 500–510.

Matsumoto, T.K.; Nagao, M.A.; Mackey, B. Off-season flower induction of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) with potassium chlorate, sodium chlorite, and sodium hypochlorite. HortTechnology 2007, *17*, 296–300.

Manochai, P. Effect of potassium chlorate on flowering of longan (*Dimocarpus longan* Lour.). Natl. Res. Counc. Thail. 1999, 1, 1–14.

Manochai, P.; Jaroenkit, T.; Khaosumain, Y.; Senanan, C.; Chaiwet, W.; Wiriya-alongkorn, W. Manual for Off-Season Production and Quality Improvement; Agricultural Research Development Agency: Bangkok, 2018; pp. 94.

Manochai, P.; Jaroenkit, T.; Ussahatanonta, S.; Ongprasert, S.; Kativat, B. Seasonal effect of potassium chlorate on flowering and yield of longan (*Dimocarpus longan* Lour.). Acta Hortic. 2010, *863*, 363–366.

Manochai, P.; Suton, V.; Viriya-alongkorn, W.; Charasamrit, N.; Ussahatanon, S. Effect of potassium chlorate on flowering of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) cvs. E-Daw and See Chompoo. In Seminar on Using Plant Hormone for Off-season Production in Fruit Trees; Nat. Res. Coun.: Thailand, 1999; pp. 1-8.

Manochai, P.; Sruamsiri, P.; Wiriya-Alongkorn, W.; Naphrom, D.; Hegele, M.; et al. Year around off season flower induction in longan (*Dimocarpus longan*, Lour.) trees by $KClO_3$ applications: potentials and problems. Sci. Hortic. 2005, 104, 379–390.

Mei, J.; Zhao, G.; Hua, X.; Zhang, J. Advances in research of potassium chlorate-induced flowering in longan. Trop. Plants 2025, *4*, e003.

Ongprasert, S.; Sutikoolabud, P.; Aumtong, S. The impact of application of chlorates in longan plantations on the environment and the remedy. Proc. World Congr. Soil Sci. 2002, pp. 1–10.

Paull, R.E.; Duarte, O. Litchi and longan. In *Tropical Fruits*, 2nd ed.; Paull, R.E., Duarte, O., Eds.; CABI: Wallingford, UK, 2011; Vol. 1, pp. 221-251.

Potchanasin, P.; Sringarm, K.; Sruamsiri, P.; Bangerth, K.F. Floral induction (FI) in longan (*Dimocarpus longan* Lour.) trees: Part I. Low temperature and potassium chlorate effects on FI and hormonal changes exerted in terminal buds and sub-apical tissue. Sci. Hortic. 2009a, 122, 288-294.

Potchanasin, P.; Sringarm, K.; Naphrom, D.; Bangerth, K.F. Floral induction in longan (*Dimocarpus longan* Lour.) trees. IV. The essentiality of mature leaves for potassium chlorate induced floral induction and associated hormonal changes. Sci. Hortic. 2009b, 122, 312-317.

Sringarm, K.; Potchanasin, P.; Naphrom, D.; Bangerth, K.F. Floral induction (FI) in longan (*Dimocarpus longan* Lour.) trees. III: effect of shading the trees on potassium chlorate induced FI and resulting hormonal changes in leaves and shoots. Sci. Hortic. 2009c, 122, 301-311.

Sritontip, C.; Khaosumain, Y.; Changjaraja, S.; Poruksa, R. Effects of potassium chlorate, sodium hypochlorite and calcium hypochlorite on flowering and some physiological changes in 'DO' longan. Acta Hortic. 2005, 665, 269–274.

Sritontip, C.; Tiyayon, P.; Naphrom, D.; Ruamrungsri, S.; Sruamsiri, P. Changes in photosynthesis characteristic and flowering in longan as affected by water regimes and potassium chlorate. J. Agric. Res. Ext. 2012, 29, 15–24.

Sritontip, C.; Jaroenkit, T.; Manochai, P.; Sangchyoswat, C. The impact of climate change on yield of longan production in northern Thailand. Acta Hortic. 2014, 1029, 155–162.

Subhadrabandhu, S.; Yapwattanaphun, C. Lychee and longan production in Thailand. Acta Hortic. 2001, *558*, 49–57.

Suthon, W.; Lee, C.; Yang, Y. Effects of $KClO_3$ and girdling on offseason flowering in longan (*Dimocarpus longan* Lour.). Hortic. NCHU 2012, 37, 1-12.

Thongaon, V.; Charoenkit, N.; Sruamsiri, P. Use of ethephon and monopotassiumphosphate combined with potassium chlorate to induce off-season flowering of longan cv. Daw in rainy season. J. Agric., Fac. Agric., Chiang Mai Univ. 2013, 29, 13–18.

Thorell, H.D.; Stenklo, K.; Karlsson, J.; Nilsson, T. A gene cluster for chlorate metabolism in *Ideonella dechloratans*. Appl. Environ. Microbiol. 2003, 69, 5585–5592.

Tiyayon, P.; Sritontip, C.; Hegele, M.; Manochai, P.; Sruamsiri, P.; Wünsche, J.N. Effects of girdling and defoliation on hormonal changes during flower induction in longan (*Dimocarpus longan* Lour.). Acta Hortic. 2010, 863, 329-334.

Wang, B.; Hu, W.; Fang, Y.; Feng, X.; Fang, J.; et al. Comparative analysis of the MADS-Box genes revealed their potential functions for flower and fruit development in longan (*Dimocarpus longan*). Front. Plant Sci. 2022, 12, 813798.

Wei, Z. Effects of potassium chlorate on endogenous hormones and root activity of longan (*Dimocarpus longan* Lour. cv. Songfengben). Mod. Hortic. 2012, 66, 9.

Werner, S.; Bartrina, I.; Schmülling, T. Cytokinin regulates vegetative phase change in Arabidopsis thaliana through the miR172/TOE1-TOE2 module. Nat. Commun. 2021, 12, 5816.

Winterhagen, P.; Tiyayon, P.; Hegele, M.; Wünsche, J.N. Expression of flowering genes in the subtropical fruit tree *Dimocarpus longan*. Acta Hortic. 2017, *1178*, 13–16.

Winterhagen, P.; Hegele, M.; Tiyayon, P.; Wünsche, J.N. Cytokinin accumulation and flowering gene expression are orchestrated for floral meristem development in longan (*Dimocarpus longan* Lour.) after chemical flower induction. Sci. Hortic. 2020, *270**, 109467.

Yen, C.R.; Chau, C.N.; Chang, J.W.; Tzeng, J.C. Longan production in Taiwan. Acta Hortic. 2003, 665, 61-66.

Zhang, Z.; Chu, C. Nitrogen-use divergence between Indica and Japonica rice: variation at nitrate assimilation. Mol. Plant 2020, 13, 6–7.

Flower Induction Adaptation Techniques and Off-season Production Management of Longan under Climate Change

Yu-Ying Chu[1,*], Yu-Cheng Ko[1] and Jer-Way Chang[2]

[1] Assistant Researcher, Department of Horticulture, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Ministry of Agriculture; yuyingchu@tari.gov.tw; axyz0852406@tari.gov.tw
[2] Researcher and Branch Director, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Ministry of Agriculture; jerway@tari.gov.tw
* Correspondence: yuyingchu@tari.gov.tw

Abstract

The longan (*Dimocarpus longan* Lour.) industry in Taiwan has long been constrained by an overly concentrated production season and the recent challenges of poor flowering during warm winters caused by extreme climate change. However, since the 1998 discovery that potassium chlorate ($KClO_3$) can substitute for cool temperatures to trigger flowering, this technology has sparked an industrial revolution in regions like Thailand, Vietnam, and China by significantly increasing off-season yields. The physiological and molecular mechanisms of this induced flowering are highly complex, involving hormonal regulation that increases cytokinin while decreasing gibberellin in apical buds, shifts in carbohydrate metabolism to increase soluble sugars, the triggering of oxidative stress via reactive oxygen species (ROS) to activate flowering genes, and the inhibition of nitrate reductase activity. In terms of industrial application, farmers can employ soil drenching, ditched and then broadcast over the soil, foliar spraying, or trunk injection to flexibly adjust production for early or off-season harvests, thereby avoiding natural disasters during the flood season and stabilizing market prices. Given that Taiwan's longan cultivation primarily involves old trees on sloped land and that potassium chlorate carries risks of explosion and toxicity, low-dosage foliar spraying appears to be a more suitable developmental direction to balance flowering efficacy, chemical safety, and environmental sustainability. Research institutions are currently pursuing legal pathways for these agents, such as evaluating the feasibility of registered sodium chlorate, while striving to develop stable summer-flowering techniques to achieve year-round production and enhance the industry's adaptive resilience to climate change.

Keywords: Potassium chlorate; Year-round production, Natural disasters

荔枝產銷策略分析

澳大利亞及泰國荔枝產業經營與商業模式研究

柯昱成[1]、謝雨蒔[2,*]、朱彧瑩[1]、張哲瑋[1,*]

1 農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所園藝系
2 農業部農業試驗所產業發展服務中心
*聯繫人 e-mail: jerway@tari.gov.tw

全球荔枝生產高度集中於亞太地區，澳大利亞憑藉南北跨緯度近 2,500 公里的地理優勢，搭配多元品種，擁有全球最長的荔枝產期；泰國則利用其獨特的熱帶早熟品種，可提早至 3 月下旬採收。澳大利亞與泰國在栽培技術、病蟲害防治、採後處理及市場行銷方面展現截然不同的特色：澳大利亞已發展出高度標準化的作業流程與機械化管理，並建立完善的低溫冷鏈系統以維持果實品質；泰國荔枝則分爲北部（亞熱帶）與中部（熱帶）兩大產區，北部產區以'Hong Huay'品種搭配開心型整枝的生產模式，中部產區則種植開花涼溫需求極低的「熱帶荔枝」品種，建立市場優勢。臺灣近年也積極與澳大利亞合作，透過澳大利亞南半球優勢建立反季節生產基地。全球荔枝產業在追求永續發展的過程中，均面臨氣候變遷、病蟲害威脅、採後處理及勞動力不足等問題，正積極透過科技育種、精準栽培管理技術及標準化冷鏈流程，加速產業轉型，應對氣候變遷與市場競爭帶來的挑戰。

關鍵字：澳大利亞、泰國、臺澳荔枝合作、國際荔枝產業

引言

荔枝（*Litchi chinensis* Sonn.）爲亞熱帶重要經濟果樹，產業主要分佈於南北迴歸線間之亞熱帶氣候區，且高度集中於亞太地區，產量佔總產値 95%以上。目前全球荔枝年產量約 200 萬公噸，以中國爲最大產地，其栽培面積約 58 萬公頃，年產量達 126 萬至 145 萬公噸，其次爲印度、越南、馬達加斯加、臺灣及泰國；此外，南非、澳大利亞、以色列、美國及巴西等地亦有商業生產(Chen and Huang, 2014; Ghosh, 2001) ，整體而言，全球荔枝生產多集中於開發中國家，僅少數例外如以色列、澳大利亞及美國等已開發國家。全球荔枝產期隨南北半球反季節特性、不同品種成熟期及跨緯度地理位置差異，可延長市場供貨期，北半球荔枝產期主要爲 5 月至 7 月，泰國部分早熟品種可提早至 3 月下旬採收，南半球產期則集中於 11 月至翌年 2 月，澳大利亞因荔枝產區南北縱長近 2,500 公里的地理優勢，搭配多元化品種，產期自 10 月下旬至翌年 3 月，爲全球荔枝產期最長的國家。

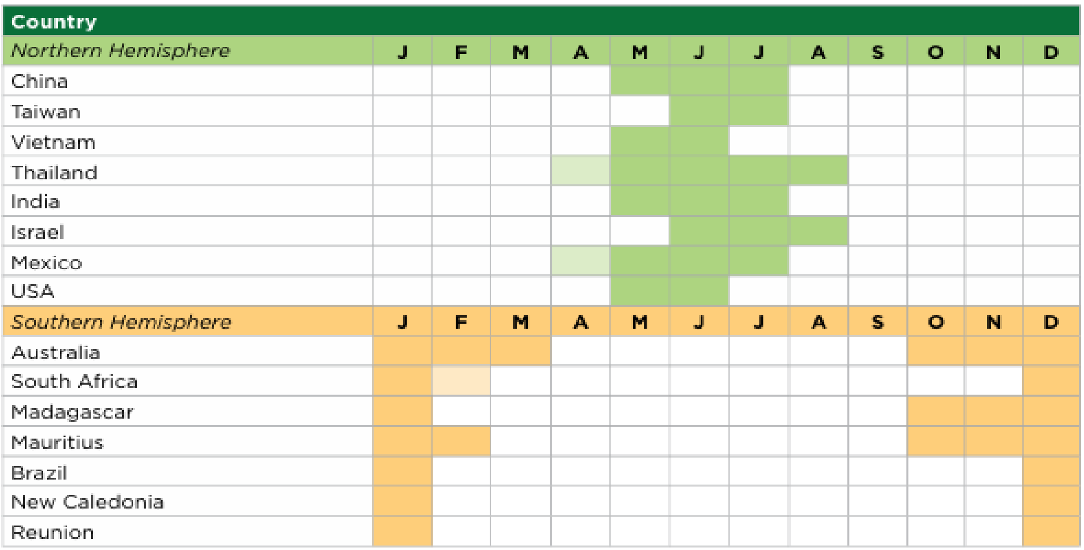

圖 1.世界荔枝主要生產國及其產期（資料來源：澳大利亞荔枝生產者協會）

國際荔枝產業發展受限於氣候條件(Batton and McConchie,1995; Batten, 1986)、栽培技術、果實產期短且易腐爛及複雜的病蟲害威脅等問題，加上荔枝屬於勞力密集型產業，許多生產國目前面臨生產者高齡化及高昂人力成本(Nath, et al., 2018)，特別是採收與修剪需要大量人工；因此，各國正致力於投入品種改良，以降低開花涼溫需求、研發栽培及病蟲害防治技術提高著果率，導入機械化管理，並優化採後處理流程等方式，以降低生產風險，維繫產業永續發展。本文針對澳大利亞及泰國荔枝產業在栽培技術、植物保護、採後處理及市場行銷方面所面臨的挑戰，並探討氣候變遷對荔枝產業穩定性之衝擊。

澳大利亞荔枝產業概況

荔枝在 150 多年前被引入澳大利亞，最早是在 1870 年代由華人移民將荔枝樹帶入澳大利亞北部昆士蘭州熱帶地區的凱恩斯附近，經歷了從庭園種植到產業化的轉型，目前澳洲在全球荔枝生產量約全球排名第 11 位，雖產量規模尚不及中國、印度或臺灣，但

其憑藉獨特的地理位置與高度機械化管理，已成為全球荔枝反季節市場的關鍵參與者。澳洲利用從北領地到新南威爾斯州超過 2,500 公里的跨緯度產區(南緯 16-32 度)，搭配多元品種，成為全世界最長荔枝產季的產區。作為南半球主要荔枝出口國，其產季與北半球互補，具備供應 11 月至隔年 2 月全球市場的能力，澳洲荔枝外銷技術成熟，主要鎖定新加坡、香港、美國及歐洲等對果品品質及檢疫標準要求極高的高經濟價值市場 (Dixon et al., 2005; Huang et al., 2009 ; Menzel et al., 1988)。

State	23/24 Tonnes	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
Queensland	2,079					Low	High	High	High	Low			
New South Wales	21							Low	Medium	High			

Availability Legend: High / Medium / Low / None

圖 2. 澳大利亞荔枝栽培產區及採收期
(資料來源：Hort Innovation, Australian Lychee Growers Association)

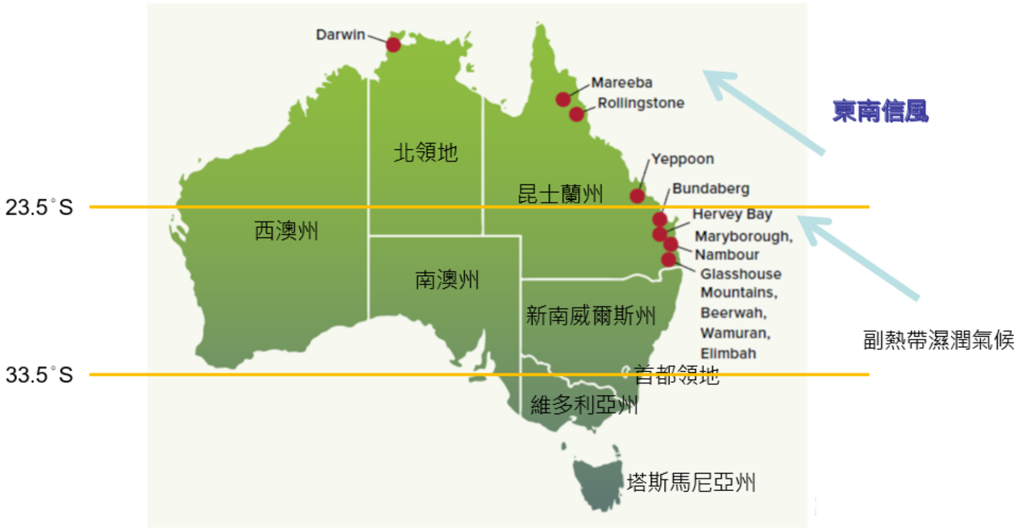

圖 3.澳大利亞地理環境及荔枝產區分布

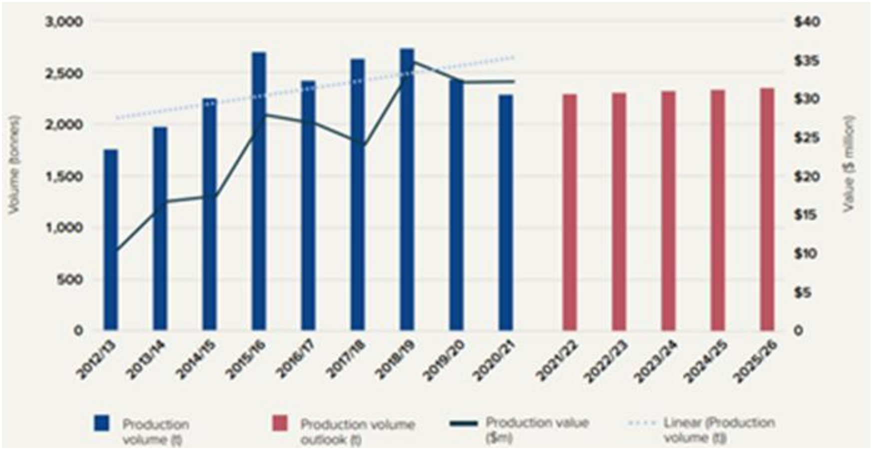

圖 4. 2012 年至 2026 年澳大利亞荔枝產量成長變化及產值推估
(資料來源：Hort Innovation, Australian Lychee Growers Association)

澳大利亞荔枝生產者協會（Australian Lychee Growers Association, ALGA）是代表澳

大利亞荔枝產業組織，並制定產業發展策略計畫，以確保產業永續發展。作爲最高產業組織，它與政府、產業單位、非政府組織及消費者合作，包括市場准入、 採後貯藏研究、栽培技術改良、新品種選育及行銷推廣等(Leu, 2002)。澳大利亞種植的荔枝品種超過 40 種，但產業目前主要以'Kwai May Pink'、'Tai So'、'Fay Zee Siu'、'Souey Tung'、'Kaimana'、'Salathiel'和'Wai Chee'爲主，其中'粉紅桂味(Kwai May Pink)'是澳洲種植面積最廣且產量最穩定的品種，屬於中晚熟品種，雖然果實偏小且貯運能力較差，但因幾乎每年能穩定收成而成爲產業主力；'Salathiel'曾是重要栽培品種，但因果實小且酸，且產期與其他大果品種重疊，目前正逐漸被市場淘汰。此外，澳大利亞近年積極從中國大陸引進果實更大、品質更佳的品種，如'鵝蛋荔 (Erdon Lee)' 、'白糖罌 (Baitanying)'等，由傳統產量高的粉紅桂味轉向高品質、大果的 'Kaimana'、'鵝蛋荔'，並透過引進不同產期品種搶佔更早熟或填補市場空窗期。

Currently commonly grown	Newer varieties
Kwai Mai Pink (B3)	Baitangying
Tai So	Chompogo
Souey Tung	Erdon Lee
Fay Zee Siu	Linsansue
Kaimana	Red Ball
Salathiel	Sansuelin
Wai Chee	Shuangbalia
Bengal	
Sah Keng	

圖 5.澳大利亞主要荔枝栽培品種(左)及荔枝生產者協會(右)

澳大利亞荔枝栽培管理技術已發展出高度標準化的作業流程，並因應氣候變遷與勞動力成本高昂的環境，致力於優化機械化與智慧化管理(Hort Innovation, 2021)，早期多採加大行株距，近年新植園區轉向矮化密植模式，通常於採收後立即修剪，以確保翌年開花前有足夠時間發育新梢，並依不同產區採收期調整枝梢長度，其中南部產區產期最晚，因此必須在 2 月下旬前修剪，晚熟種如「淮枝」採收後修剪特別重要，由於當地枝條修剪後至下個冬季來臨前，新梢沒有太多時間生長和成熟，通常在採收時順便修剪，並培養一段梢，與臺灣荔枝生產者培養 2 至 3 段稍有別。果園採機械化修剪（修剪側面、頂端及下垂枝）配合少量人工修剪，修剪後的枝條會覆蓋於樹幹基部作爲有機肥與覆蓋物，由於當地果實發育期正値旱季，生產者高度重視水分供應，果園多採用自動化的噴霧灌溉系統，並搭配儲水設備，降低因土壤乾溼劇烈波動引起的裂果 (Fruit cracking) 風險。在枝梢休眠期會限制養分與水分供給，以抑制營養生長並促進花芽分化，通常在開花前（9 月）才開始施肥，並根據葉片與土壤營養分析結果精準調整肥料種類與用量。除基本的氮磷鉀肥外，特別注重鈣(Ca)、硼(B)及鋅(Zn)的補充，鈣主要扮演促進細胞分裂及細胞發育的角色，鈣有助於防止荔枝採收前裂果及減緩褐化速度；鋅是製造酵素及植物荷爾蒙所需原料，缺鋅易造成幼葉黃化脫落及幼果死亡等影響，通常於採收後施用促進新梢生長；硼則與授粉及鈣肥吸收有關，加上硼在土壤中容易流失及在植物體內移動性低(Menzel and Simpson,1987)，在澳大利亞的氣候環境條件下，生產者每年必須持續且頻繁地補充少量硼肥，特別是在花穗生長期間及果實採收後進行補充，在砂質土壤，特別推薦用少量多次方式施用減少硼肥流失，近年來受氣候變遷影響，生產者開始使用

益收生長素除去晚梢，同時抑制新梢生長。

圖 6.荔枝果園經機械化修剪後之情形

澳大利亞荔枝產業最嚴重的威脅鳥類與果蝠，果園會架設防鳥(蝠)網，或於果實成熟前以覆網保護，若架設永久防護網室，單位面積設施成本可高達 160 萬澳元，荔枝針點病（Lychee Pepper Spot Disease)常發生於覆網果園，徵狀表現爲葉片、葉柄及果實表面出現微小、稍微凸起的黑色針點狀病斑，嚴重時會形成大面積黑斑或黑腐徵狀影響果實品質與儲架壽命(Cook and Coates, 2002)，'粉紅桂味' (Kwai May Pink) 似乎特別容易感染，通常於花穗抽發前至採收期間，每 2 至 3 週定期噴灑保護性殺菌劑（如銅劑、鋅錳乃浦），常見蟲害包括荔枝銹蟎（毛氈病）、蛾蠟蟬、目前生產者開始使用不傷蜜蜂等授粉昆蟲的藥劑（如 Prodigy），整體而言病蟲害的管理重點在於防護網室內的環境監控以及改善果園排水，並配合精準的施藥噴灑策略以維持鮮果品質。

圖 7.澳洲荔枝覆網栽培模式

圖 8.蛾蠟蟬(左)及荔枝銹蟎(右)是網室栽培果園中常見害蟲

泰國荔枝產業概況

荔枝在泰國已有超過 100 年以上的栽培歷史，最早由中國移民引入，並逐步適應當地氣候條件，目前泰國是世界第六大荔枝生產國，年產量約 4.3 萬公噸(Menzel, 2002)，栽培面積約爲 2 萬公頃，約爲臺灣的 2 倍，但單位面積產能僅約 2.1 至 2.5 公噸/公頃，生產效率顯著低於臺灣。相較於北半球其他主要產區（如中國、臺灣、越南），大多集中在 5 至 7 月生產，泰國早熟荔枝品種（3 月下旬至 4 月）能有效搶佔市場先機(Anupunt and Sukhvibul, 2005)，填補全球市場空窗期，並獲得較高的外銷利潤，當地農民曾嘗試利用氯酸鉀（potassium chlorate）與 paclobutrazol 進行荔枝催花，但尚未成功。

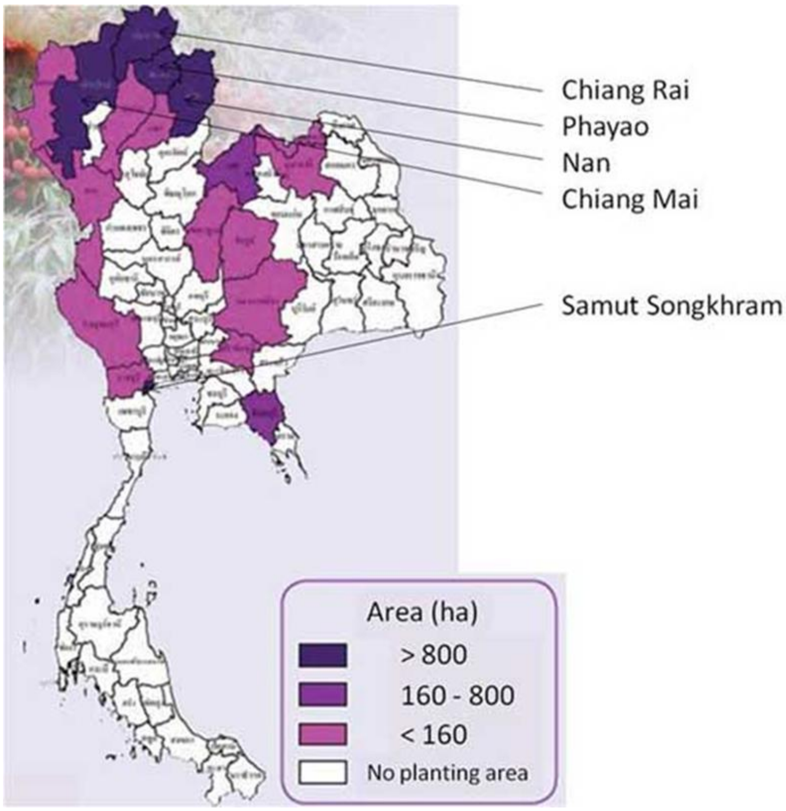

圖 9. 泰國荔枝產業現況及產區分布(Phavaphutanon, 2015)

茲將泰國主要產區分布、栽培品種(Chinawat and Suranant, 2021; Yapwattanaphun and Subhadrabandhu, 2001)及栽培管理(Menzel and McConchie, 1998;)簡敘如下:

1. 北部產區（亞熱帶氣候）：

包括清邁(Chiang Mai)、清萊(Chiang Rai)、帕堯(Phayao)等地，是泰國荔枝主要產區，占全國栽培面積80%以上，此地區種植亞熱帶荔枝(開花涼溫需求高)爲主，其中以 'Hong Huay'種植面積占亞熱帶荔枝品種 66%以上，其次是'Chakrapad'、'Kim Cheng'、'O-Hia'等品種有零星栽培，產期較中部產區晚約 1 個月，集中在 5 月中旬至 6 月中旬，但比熱帶荔枝貢獻更多經濟產值。當地'Hong Huay'多採開心型整枝(Open-center)模式，保留主幹並針對內部枝條進行修剪，以維持通風與透光，但開心型整枝易使樹中心部位暴露於強光下，導致樹皮曬傷（日燒），因此當地推行保留一年生徒長枝，利用徒長枝上的葉片爲樹幹遮蔭，同時部分徒長枝也能開花著果，以增加產量。泰北荔枝果園常見樹冠層過高（約可達 8 公尺）問題，增加栽培管理難度，目前當地農民已採取逐年鋸除側幹的方式，進行分年矮化作業，改善管理及採收效率，並在第三次梢成熟後，利用環刻（cincturing）或噴施益收生長素（Ethephon）來抑制冬梢及促進開花，但爲避免樹勢衰弱，通常每年僅輪流環刻其中一側幹。

圖 10.荔枝開心型整枝模式(左)及徒長枝條管理(右)

2. 中部產區（熱帶氣候）：

主要集中於夜功府（Samut Songkhram），此區以獨特的「熱帶荔枝」聞名，泰國熱帶荔枝僅需約 110-120 小時的連續涼溫（約 14°C 至 19°C）即可誘導花芽分化，這使熱帶荔枝能比亞熱帶品種更早進入開花繁殖階段，加上中部產區冬季氣溫及春季回暖幅度較為平穩，有利於熱帶荔枝穩定開花與加速成熟，最主要的栽培品種為「Khom」，占泰國熱帶荔枝總種植量的 90% 以上，'Khom'通常於 1 月下旬開花，4 月初成熟，採收時間較泰國亞熱帶荔枝早約 1 個月，但長時間處於 10°C 以下的低溫會對'Khom'的花芽形成產生不利影響。其他較知名的品種包括'Sam Pao Kaew'、'Puntip'、'Nakorn Panom 1'及'Sa Raarg Tong'等，其開花與果實發育模式大致與「Khom」相似。泰國熱帶荔枝總產量約為 6,000 至 8,000 公噸，約占全國荔枝總產量的 7—11%，正常年份'Khom'的零售價格約為每公斤 70 至 80 元 泰銖(約 2.1—2.4 美元)，較最廣泛栽培的品種'Hong Huay'高約 75%，亦較最昂貴的亞熱帶荔枝品種'Chakkapat'高約 25% (Wiriya-Alongkorn and Rasananda, 2010)。產區多採高畦種植，每畦種植一排荔枝，中間隔著灌溉溝渠，代表品種為 'Khom'（矮性品種），占該區面積 90% 以上，'Khom'產期極早，約於 12 月下旬至 1 月上旬開花，4 月即可採收，部分早熟個體或搭配栽培管理技術，最早甚至在 3 月下旬即可採收上市。通常於採收後(5 月)立即進行採後修剪，以培養二年生以上的枝條作為結果母枝，修剪時會以電鋸伐除大部分二年生以上枝條，並保留當年度未開花的枝條，使其在翌年成為新結果母枝，由於使用電鋸伐除的傷口較大，農民習慣在鋸口噴上粉紅色噴漆，以防止病原菌侵入導致腐朽(柯等，2018)。

泰國荔枝產業最嚴重的害蟲為荔枝細蛾，但因樹體高大，噴藥作業不易加上抗藥性，其收穫果實的危害率常高達 80%以上，此外還有荔枝銹蟎、象鼻蟲、介殼蟲與捲葉蛾等；露疫病是最主要的病害，特別是在採後裝袋(箱)後極易發生，加上泰國在集貨運輸時，通常僅在貨車內部鋪放冰塊來維持低溫，缺乏完善的專業冷鏈系統，成為限制泰國荔枝鮮果外銷高品質市場的主要技術障礙，因此果實採收後以供應內需市場為主。農民通常於開花後第 2 個月開始第 1 次施藥，之後約每 10 天至 15 天施藥 1 次，並交替使用不同藥劑，以避免產生抗藥性。果園內普遍設置以木板或椰子樹幹製成的蜂箱飼養野生蜂，以提高授粉率與著果率，果實發育期普遍使用袋底開放的白色紙袋進行套袋，套袋果實在內銷市場的售價可達未套袋者的 2 倍，並加速果實轉色(Pongener, et al., 2025)。

圖 11.荔枝高畦栽培(左)及熱帶荔枝修剪模式(右)

圖 12.荔枝樹套袋可促進果實轉色

圖 13.荔枝果實分級包裝均於田間進行

圖 14.荔枝細蛾(左)及介殼蟲(右)是果園常見之蟲害

圖 15.修剪後遮蔭不足易導致枝幹嚴重日燒

圖 16.荔枝罐頭及果汁於當地超市販售情形

泰國的荔枝加工產業發展相對成熟，主要產品包括荔枝罐頭與荔枝果汁，透過高值化加工，能提高荔枝產業的整體產值與相關從業人員的經濟收益，並避開鮮果外銷檢疫障礙，泰國荔枝罐頭的主要外銷對象為馬來西亞與美國，其他出口國還包括新加坡、法國及印尼。

澳大利亞荔枝產業市場行銷與營利模式

在荔枝產業中，採後保鮮與加工利用（Processing）被視為延長荔枝果實壽命與調節市場供需的關鍵技術。澳洲與泰國在此兩方面的發展呈現出截然不同的產業策略。荔枝為非更年性水果，採後極易褐化且保鮮期短。澳洲與泰國在維持鮮果品質上的做法有顯著差異，澳洲荔枝採後保鮮的三大原則為太陽升起前採收、果實降溫、保持貯藏環境濕度，搭配高度標準化冷鏈（Cold chain）系統，透過採收時間控制、即時降溫、濕度維持與包裝、全程低溫運銷，減少田間熱對果實的負面影響(Diczbalis, et al., 2005; Jiang et al., 2006)。

澳洲果農通常在上午 5 點至 9 點前採收，採收後的荔枝果實連同枝葉放入籃中，運抵集貨場後會立即灑水，移除表面髒污及降溫，並移入 2° C-5° C 的冷藏庫中進行去果梗與初步篩選，冷藏庫採用氣流循環式設計，部分農民可透過手機 WiFi 遠端監控並調整溫度，部分農場則會利用 4° C 冷水噴灑，直到果心溫度降至 10° C-12° C，清洗用水通常會經過紫外線 (UV) 照射殺菌或加氯處理。為防止果皮褐化及腐爛，荔枝果實常放置於透明塑膠袋或專用保鮮袋中再裝箱，裝箱前使用帶式分級機 (belt-type grading machine) 進行分級選別，利用冷凍貨櫃車運送，通常採用混裝其他作物品項以降低運輸成本，櫃內溫度視品項調整於 4° C 至 10° C 之間，果實出貨前會隨機抽樣，利用探針 (Probe) 隨機檢查果心溫度，確保果實品質，從昆士蘭產地運往雪梨或墨爾本等大城市約需 1 至 3 天，外銷至美國市場時，會進行輻射檢疫處理 (Irradiation) 以符合防檢疫要求(柯，2024；Bagshaw, et al., 2000; Flower, 2002)。

圖 17.澳洲荔枝田間採收作業

圖 18.集貨場分級選別作業

圖 19.果實出貨前以探針檢測果心溫度

圖 20.果實包裝及出貨

圖 21.澳洲荔枝於布里斯本市場販售情形

澳大利亞主要有 3 種植物品種授權邏輯，視品種的市場價值與消費者吸引力而定，雖目前澳大利亞荔枝主要栽培品種沒有品種權保護，但其從傳統的苗木銷售轉向高度專業化的品牌行銷授權管理模式(謝等，2025)，極具參考價值。

1. 行銷授權模式（Single Desk Marketing Model）：

代表案例爲 Piñata Farms 的 'Honey Gold' 芒果品種，品種權所有人不以販賣種苗獲利，而是選擇掌控行銷端所有人授權特定種苗商繁殖，並與選定的農場合作生產，合作農場統一負責物流、包裝、標籤及制定嚴格的生產標準。品種權人向生產者收購果品販售或收取高達 20% 的衍生利益金（權利金），讓育種單位、行銷業者與農民共享收益。

2. 植株授權模式（Plant Royalty）：

適用生產表現或消費者不願出高價購買的品項、市場反應普通、不具備高度差異化的品種。生產者在購買苗木時支付一次性的授權費用，後續由生產者自負盈虧，執行上相對單純。

3. 品種權(PBR)+商標權（Trademark）：

品種權經營不應只依賴 PBR，因爲其保護期限有限（通常爲 20-25 年），同時採取商標權保護（如紐西蘭 Zespri 奇異果模式），如當地'Sun Lychee' 品牌透過商標建立消費者的忠誠度，即使 PBR 到期，所有人仍能透過掌控品牌口碑與高品質標準來維持市場競爭力。

陳仁惠等(2020)針對臺灣 793 件農糧作物品種授權態樣分析，發現果樹除了 1 件番木瓜品系因不適合國內經濟栽培且評估外銷市場空間並未重疊，而直接讓與墨西哥種苗業者以外，其他境外授權案例如芒果、荔枝、印度棗則以專屬授權日本業者之方式爲之。相關研究亦指出，若需要經濟化生產或打造品牌特色，宜鎖定農民團體或公司作爲專屬授權對象(孫等，2015)。

臺澳荔枝合作案

臺灣與澳大利亞的荔枝合作案起源於 2016 年，農試所與澳大利亞昆士蘭州農漁業部（QDAF，現更名爲初級產業廳 DPI）簽署了雙邊荔枝產業合作備忘錄（MOU）利用澳

洲位處南半球的地理優勢，與臺灣產期（5 月至 7 月）形成互補，建立全球產銷布局，延長臺灣優良品種的供貨期，鎖定南半球的聖誕節、華人新年市場，並具備外銷北半球市場的潛力，是臺灣首次嘗試將自行選育的果樹品種透過「植物品種權」授權，在境外建立生產基地。

本案規劃將農試所育成的「台農 2 號」至「台農 7 號」共 6 個荔枝品種苗木引入澳大利亞昆士蘭州，以「臺灣荔枝，澳洲萌芽」及「臺澳協力，產業布局」爲兩大主軸，並以下四大方向進行雙邊合作(方等，2024)：

1. 品種權（Plant Breeder's Rights, PBR）申請：

爲保護臺灣育種成果及建立海外授權基礎，積極向澳洲智慧財產局（IP Australia）申請植物品種權（PBR）。目前已取得重大突破，包含達成「臺澳植物品種權檢定報告相互採認」，並由臺灣研究人員取得澳洲植物品種權認證檢定人員（QP）資格，目前已成功獲得 '台農 3、5、6、7 號' 等 4 個品種在澳大利亞的品種權，並修訂臺灣新版荔枝品種性狀檢定標準，接軌 UPOV 國際標準，加速未來申請境外品種權流程(柯等，2025)。

2. 品種測試（試種）：

依據澳洲昆士蘭州由北到南不同的氣候特性，規劃在不同緯度的果園進行試種評估，目的是收集各品種在當地的栽培適應性、產量及果實品質表現，以找出最適合各產區的品種。透過在 Yeppoon 繁殖基地的初步觀察，臺灣品種展示了極佳的氣候適應力，但也暴露出管理上的差異，如'台農 3 號（玫瑰紅）'由於昆士蘭冬、春季低溫充足且授粉期無雨，其著果情形甚至優於臺灣，但澳大利亞生產者習慣使用機械強剪(Olesen et al., 2013)，易導致臺灣品種新梢生長過旺而不開花，開花率低於 30%，'台農 2 號'則出現嚴重裂果問題，可能與土壤環境及灌溉管理有關(張等，2023)。

3. 境外授權：

規劃將取得品種權的優良品種，透過法律合約授權給澳洲當地的合作夥伴進行生產與經營，將臺灣研發成果轉化爲跨國智財收益。

4. 商業營運（營運模式）：

爲了讓臺灣育種成果創造最大價值，目前正積極研擬可行的商業生產與行銷策略，評估包括品種專屬授權、階段性分工或合作經營等模式。澳方專家強烈建議參考當地現行之'Honey Gold' 芒果模式，結合品種權與商標權進行品牌化經營。

臺澳荔枝合作案已從早期的苗木引入與檢疫階段，成功跨越到品種權保護與產地試種評估的關鍵期，透過台農系列品種優異的早熟與高品質特性，結合澳洲標準化的採後冷鏈與成熟的智財授權模式，有望成爲臺灣果樹走向國際的指標性計畫，未來仍須加強種苗繁殖，同時依據昆士蘭州不同緯度的特性，調整修剪、灌溉與益收控梢技術，提供試種戶參考，並持續與 ALGA 等產業團體合作，善用澳洲完善的行銷體系，媒合商業合作夥伴，創造更多研發成果價值。

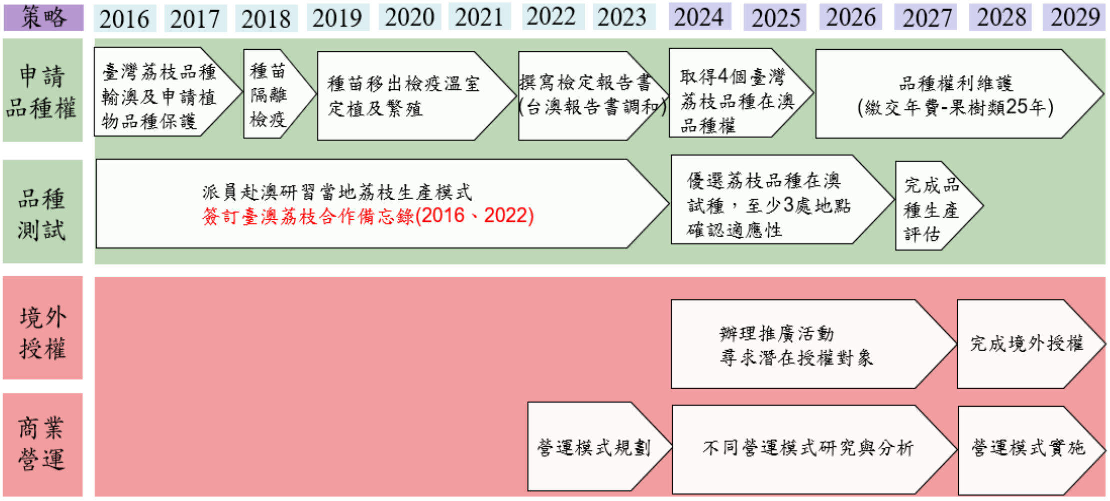

圖 22.臺澳荔枝合作案推動情形及後續規劃

結語

荔枝產業目前除面臨氣候變遷導致開花率降低及病蟲害防治困難，產期集中及不易貯藏的特性亦限制果品市場流通，同時面臨人力成本高昂的困境，為降低生產風險並確保產業永續，各國正積極推動品種改良與栽培技術研發、導入機械化管理、建立採後冷鏈運銷及外銷檢疫技術，並研發新型加工等方式，調節市場供需，臺灣亦積極推動荔枝產業反季節生產布局，建立全球產銷連結，延長優良品種的供貨期未來將持續推動優良品種異地試種評估，並針對不同產地的管理模式，調整修剪與灌溉技術，透過國際合作與產銷體系整合，提升國內荔枝產業競爭力。

參考文獻

方怡丹、張哲瑋、謝雨蒔、柯昱成。2024。臺灣荔枝於澳大利亞昆士蘭州反季節生產及商業模式評估計畫出國報告。

柯昱成。2024。臺灣荔枝於澳大利亞反季節生產計畫出國報告。

柯昱成、張仁育、王泰權。2018。赴泰國研習當地早熟荔枝產業出國報告。

柯昱成、張哲瑋。2025。臺灣荔枝取得澳大利亞植物品種權，臺澳合作邁向新里程。農業部農業試驗所技術服務季刊 36:30-31。

張哲瑋、謝雨蒔、柯昱成。2023。赴澳大利亞昆士蘭州執行臺澳荔枝合作案出國報告。

孫智麗、周孟嫻、楊玉婷。2015。因應經貿自由化從生產面與消費面論糧食
安全之農業發展戰略。臺灣經濟研究月刊 38 (3):84-91。

陳仁惠、陳琮元、黃子彬、李國基。2020。農糧作物品種授權態樣研究分析。台灣農學會報 21(2)：118-138。

謝雨蒔、柯昱成。2025。執行 114 年度臺灣荔枝於澳大利亞昆士蘭州反季節生產及商業模式評估計畫出國報告。

Anupunt, P., & Sukhvibul, N. 2005. Lychee and Longan Production in Thailand. Acta Horticulturae, 665, 53-60.

Bagshaw, J., Underhill, S. and Dahler, J. 2000. Lychee Hydro-cooling. Queensland Government Department of Primary Industries. Horticulture and Fresh Produce. DPI Note. http://www.dpi.qld.gov.au/horticulture/5439.1.html.

Batton, D.J. and McConchie, C.A. 1995. Floral induction in growing buds of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) and mango (*Mangiferia indica* L.). Aust. J. Plt. Physiol. 22:783-791.

Batten, D. J. 1986. Towards an understanding of reproductive failure in lychee (Litchi chinensis Sonn.). Acta Hort.175:79-83.

Chen H.B. and Huang X.M. Overview of Litchi Production in the World with Specific Reference to

China.2014. Acta Hort. 1029, 25-33.
Chinawat, Y. and Suranant, S. Lychee Cultivars in Thailand. 2021. Int. Symp. on Litchi and Longan. Acta Hort., 558, 93-101.
Cook, A.W. and Coates, L.M. 2002. Pepper Spot; A preharvest disease of lychee caused by Colletotrichum gloeosporioides. Aust. Plt. Pathol. 31:303-304.
Diczbalis, Y., Campbell, T., Blair, A., & Chay-Prove, P. 2005. Unlocking Lychee Research – The Australian Experience. Acta Hort., 665, 219-228.
Dixon, L. W., Leu, A. F., Amos, R., and Flower, A. 2005. The Australian Lychee Industry - An Overview. Acta Hort., 665, 37-42.
Flower, A. 2002. Iced water for post harvest. In: Living Lychee. Newsletter of the Australian Lychee Growers Association (ALGA) 29:12.
Ghosh, S. P. 2001. World trade in litchi: Past, present and future. Acta Hort., 558, 23-30.
Hort Innovation. 2021. Lychee Strategic Investment Plan 2022-2026. Sydney: Horticulture Innovation Australia Limited.
Huang, X.M., Hu, G.B., Chen, W.X., Wu, Z.X., Chen, H.B. and Lin, S.Q. 2009. The investigation report of litchi industry in Australia. Chinese Hort. Abstract 25:1-5.
Jiang, Y.M., Wang, Y., Song, L., Liu, H., Lichter, A., Kerdchoechuen, O., Joyce, D.C., Shi, J., 2006. Postharvest characteristics and handling of litchi fruit - An overview. Australian Journal of Experimental Agriculture. 46(12), 1541-1556.
Leu, A.F. 2002. Australian Lychees Growers Association, Market Access of Lychees – Lychee Industry Information. Australian Lychee Growers Association, for Biosecurity Australia.
Menzel, C. M. 2002. The Lychee Crop in Asia and the Pacific. Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Regional Office for Asia and the Pacific. (RAP Publication: 2002/16)
Menzel, C. and McConchie, C. 1998. Lychee and Longan. A Handbook for Farmers and Investors. The New Rural Industries. p.288-295.
Menzel, C.M. and Simpson, D.R. 1987. Lychee nutrition: A review. Scientia Hort. 31:195-224.
Menzel, C. M., Watson, B. J. and Simpson, D. R. 1988. The lychee in Australia. Queensland Agricultural Journal, 114(1), 19-26.
Nath, V., Pandey, S. D., Pongener, A., Srivastava, K., & Marboh, E. S. 2018. Challenges and opportunities for improved productivity of litchi. Acta Hort., 1211, 161-170.
Olesen, T., C. M. Menzel, C. A. McConchie, and N. Wiltshire.2013. Pruning to control tree size, flowering and production of litchi. Scientia Hort. 156:93-98.
Phavaphutanon,2015, fruit production, marketing and research and development system in Thailand, http://www.fftc.agnet.org/library.php?func=view&style=type&id=20150811091012
Pongener, A., Purbey, S. K., Kumar, V., Nath, V., Sharma, S., Kumar, A., et al. 2025.Bagging increases anthocyanins accumulation in pericarp and improves overall fruit quality in litchi. Natl. Acad. Sci. Lett. 48, 601–605. doi: 10.1007/s40009-024-01526-w
Wiriya-Alongkorn, W. and Rasananda S. 2010. Thai Tropical Lychees – Identification of Cultivars by Morphological Method. Acta Hort. 863,407-412.
Yapwattanaphun, C. and Subhadrabandhu, S. 2001. Lychee Cultivars in Thailand. Acta Hort., 558, 93-99.

Strategic Analysis of Lychee Production and Marketing: A Case Study of Lychee Industry Management and Business Model in Australia and ThailandYau-shian

Yu Cheng Ko[1] , Yu Shih Hsieh[2], Yu Ying Chu and Jer-Way Chang[1,*]

1 Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture
2 Agricultural Development and Service Center, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture
* Correspondence: jerway@tari.gov.tw

Abstract

Global lychee production is highly concentrated in the Asia–Pacific region. Australia benefiting from its geographic advantage of spanning nearly 3,000 km across latitudes from north to south, together with a diverse range of cultivars, possesses the longest lychee production season worldwide. In contrast, Thailand capitalizes on its unique early-maturing tropical cultivars, enabling harvest as early as late March. Australia and Thailand exhibit markedly different characteristics in cultivation practices, pest and disease management, postharvest handling, and marketing strategies. Australia has developed highly standardized production systems and mechanized management, complemented by a well-established cold-chain infrastructure to maintain fruit quality. In Thailand, lychee production is broadly divided into two major regions: the northern (subtropical) and central (tropical) zones. The northern region predominantly cultivates the 'Hong Huay' cultivar using an open-center pruning system, whereas the central region focuses on "tropical lychee" cultivars with minimal chilling requirements for flowering, thereby establishing a distinct market advantage. In recent years, Taiwan has actively engaged in collaboration with Australia, utilizing the southern hemisphere advantage to establish off-season production bases. As the global lychee industry strives for sustainable development, it faces common challenges, including climate change, pest and disease pressures, postharvest management issues, and labor shortages. Consequently, the industry is accelerating its transformation through advances in breeding technologies, precision cultivation practices, and standardized cold-chain systems to enhance resilience against climate variability and increasing market competition.

Keywords: Australia; Thailand ;Taiwan-Australia lychee cooperation ; Global lychee industry

荔枝灌溉管理之研究

蔡耀賢[1,*]、向爲民[1]、柯昱成[2]、張哲瑋[2]

1 農業部農業試驗所農業化學組
2 農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所
*聯繫人 e-mail: sin310217@tari.gov.tw

針對荔枝不同物候期設定作物係數，停梢期及花芽分化期爲 0.4、生殖生長期爲 0.9、營養生長期 0.7 以估算荔枝不同生長階段需水量，而荔枝灌溉水量可依據試驗田 60 cm 深之土壤質地分析，估算土壤有效含水量爲 144.8 mm，容易有效水分含量爲 86.9 mm，推算單次灌溉需水量約爲 102 mm，在 2025 年降雨量雖高達 2504.5mm 但降雨分配極不均勻，夏季降雨高度集中 5 月起雨量倍增至 94.5 mm，隨後進入 6 月至 9 月的強降雨期，但秋冬季至隔年春季則面臨嚴峻的氣象乾旱降雨量極度稀少，特別 11 月至 12 月幾乎無雨，1 月至 4 月雖有回升但仍維持在低檔，以 CROPWAT 8.0 分析嘉義農業試驗分所 2025 年氣象實測數據，可得到推薦灌溉時期爲 4/21、5/19、9/15、10/8、11/6 及 12/15 日進行灌溉。

關鍵字：荔枝、灌溉、水分管理

引言

在全球暖化與氣候變遷影響下，極端天氣事件日益頻繁且降雨時空分布不均，使果園灌溉需求與水資源管理愈加重要，因此掌握土壤特性與作物需水量成爲灌溉需求估算與水資源規劃的關鍵（Pereira *et al.*, 2009；Dono *et al.*, 2013），作物需水量可由作物係數與參考蒸散量推估，而灌溉需水量則爲扣除有效降雨後，爲滿足作物蒸散需求且維持產量所需補充的水量（Rao & Chandran, 1977）。荔枝爲臺灣重要高經濟價值果樹，種植面積約 1 萬公頃，年產值達 30—40 億新台幣；然而，近年氣候變遷導致氣溫上升與降雨型態改變，使產量波動加劇，甚至可能降至預期產量的 30%以下（Teng, 2005；Ghosh, 2001；）。研究亦指出，氣候因素對作物產量與品質具有顯著影響（Solomon *et al.*, 2009；Kumar, 2014；Huang *et al.*, 2019；），因此在水資源可能日益受限的情況下，需透過掌握作物需水特性、導入創新灌溉技術、調整栽培模式並優化灌溉系統，以降低灌溉用水量並提升整體水資源利用效率（Jabeen *et al.*, 2022；Si *et al.*, 2020）。

土壤灌溉量估算

土壤有效含水量可由 Morris (2002)灌溉指引土壤質地與土壤水分有效含水量查表進行估算(如表 1)，以嘉義分所荔枝試驗田(23.484806, 120.474293)爲例，經土壤調查顯示主要根系集中於 60 cm 以上土層，其表土 0—16cm 質地爲壤土，剖面 16 cm 以下之土壤質地均屬粘重的黏土類土壤，上層(0-16cm)壤土土壤有效水分含量爲 2(in/ft)，底層(16-75cm)坋質黏壤土土壤有效水分含量爲 2.4(in/ft)，土層以 60 cm 計算其土壤有效水量估計值爲 114.7mm，容易有效水分含量(Readily available moisture)或允許消耗的有效水分含量(Permissible deficit or depletion of soil available water)爲易於被植物吸收沒有任何導致產量減損的壓力的部分，一般占總有效水分含量的 20—70%，可以是總有效水分含量乘以 P 的乘積估算，深根大田作物和成熟的果樹爲 0.40—0.60，估算容易有效水分含量 68.8 mm，最後將其水量除以灌溉效率，灌溉效率以滴灌 0.85 進行計算(Howell 2003)，1 次灌溉需水量約爲 80 mm，可在不同時期進行灌溉需求評估，當作物蒸發散量達 68.8 mm 時即可進行單次灌溉約爲 80 mm 灌溉，相當於 80 Mg ha-1。

表 1.土壤質地與土壤有效含水量(Morris, 2002)

Soil texture	Available Water Capacity	
	(in/ft)	(mm/mm)
Coarse Sand, Sand	0.25	≈0.0208
Loamy Sand	0.85	≈0.0708
Sandy Loam	1.45	≈0.1208
Loam, Silt	2.0	≈0.1667
Silt Loam	2.4	0.2

荔枝需水量估算

作物蒸發散量(ETc)是作物因蒸發與蒸散所消耗之水量，可由作物係數(Kc)與參考蒸發散量(ET0)估算，而需水量受作物種類、生育階段與環境條件影響；即使在相同氣候條件下，不同作物及其不同生育期亦具有差異化的作物係數，故可透過氣象資料推算參考蒸散量，進而估算各生育時期之作物用水需求。荔枝的作物係數，依照南非的量測資料，在 0.4—1.2 之間，並沒有季節性趨勢，參考學者專家所發表 Kc 值，本研究將 Kc 值設定爲停梢期及花芽分化期爲 0.4(11 月至隔年 2 月)、生殖生長期爲 0.9(3—6 月)、營養生長期 0.7(7—10 月) (Carr &Menzel 2013; Pereira *et al.* 2024)。以嘉義農業試驗分所 2025 年的氣象資料可計算出各生育期的作物需水量(ETcrop)　，11 月至隔年 2 月爲停梢期及花芽分化期 2025 年作物需水量分別爲 140 mm，3—6 月爲生殖生長期 2025 年作物需水量爲 534 mm，7—9 月爲營養生長 2025 年作物需水量分別 418 m，合計年度作物需水量分別爲 1091 mm(表 2)。

表 2.以 CROPWAT 模型估算荔枝生長期與作物需水量

Growth stage	month	Crop evapotranspiration (mm)
Terminal bud period & Flower bud differentiation period		140
	November	39
	December	37
	January	31
	February	33
Reproductive growth phase		534
	March	119
	April	132
	May	147
	June	136
Vegetative growth period		418
	July	113
	August	112
	September	98
	October	95
	Total	1091

以 CROPWAT 進行荔枝灌溉排程模擬

CROPWAT 8.0 是由聯合國糧農組織的專家所建立及開發的軟體，被世界各國廣泛的運用於評估作物灌溉需水量，該軟體是以 Penman–Monteith 公式為基礎，蒐集當地氣象資料如氣溫(℃)、濕度(%)、風速(km/day)及日照(hours)等資料，可用以模擬荔枝蒸發散量及灌溉需水量，進而規劃荔枝的灌溉排程，以嘉義分所荔枝園 2025 年為例，該年度雖然降雨量高達 2504.5mm 但降雨分配極不均勻，夏季降雨高度集中 5 月起雨量倍增至 94.5 mm，隨後進入 6 月至 9 月的強降雨期。其中 7 月份降雨量高達 1087 mm，佔全年總雨量的 45%以上，但秋冬季至隔年春季則面臨嚴峻的氣象乾旱降雨量極度稀少，特別是從 10 月開始驟降至 1 mm，隨後 11 月至 12 月幾乎無雨，1 月至 4 月雖有回升但仍維持在低檔（25.0 -69.0 mm 之間）(圖 1)，雖然 2025 年總雨量充裕，但存在水分供需不均的情形在不同物候期極為顯著，本研究利用 CROPWAT 8.0 進行荔枝灌溉排程模擬，其結果如圖 2 所示，圖中藍色柱狀圖代表每月累積降雨量，數值範圍介於 0 至 1200 mm；深紅色折線圖則表示土壤水分消耗量，最上方之 0 mm 代表土壤水分達到完全飽和或田間容水量狀態，曲線愈往下延伸，數值愈大，則表示土壤水分的消耗與虧缺愈嚴重，為有效維持荔枝的產量與果實品質，2025 年模擬灌溉排程於土壤水分消耗接近臨界時採取一次 80 mm 灌溉建議，設定之灌溉時間點分別為 4 月 21 日、5 月 19 日、9 月 15 日、10 月 8 日、11 月 6 日及 12 月 15 日，每次均進行 80 mm 的定量灌溉補充，以確保荔枝各生育關鍵期之水分需求獲得滿足。

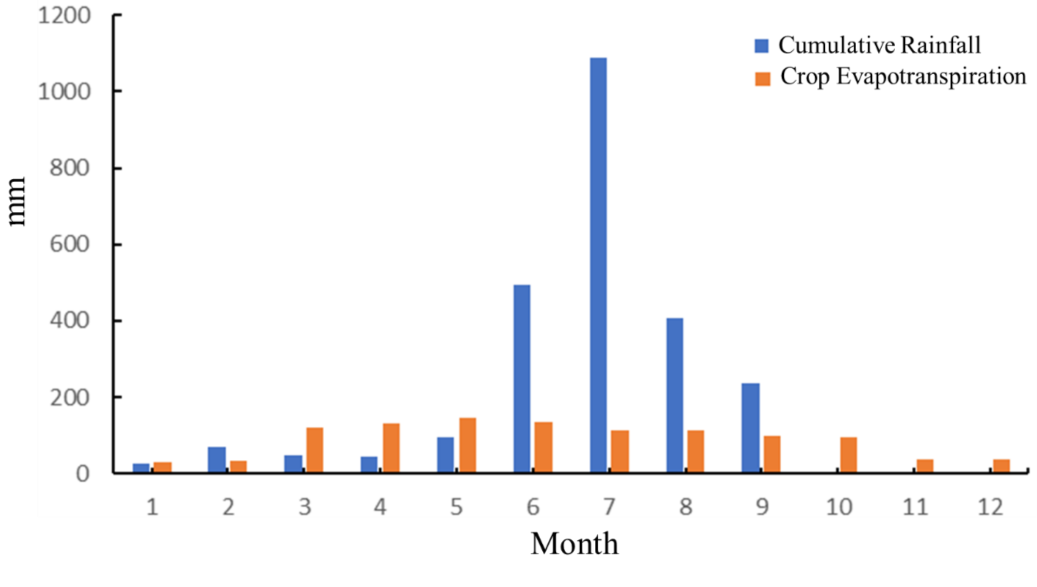

圖 1.2025 年各月份累積雨量及作物蒸發散量。

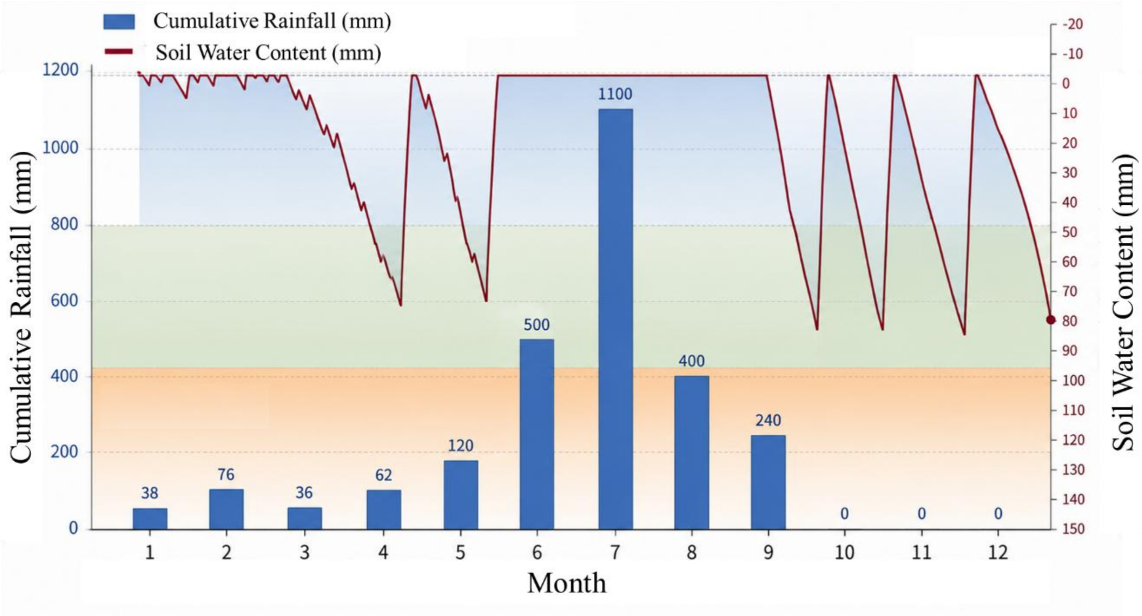

圖 2.荔枝灌溉排程模擬。

結語

從 2025 年嘉義分所之模擬結果，雖然該年度總雨量雖充裕但並不等同於作物水分安全，降雨分配不均所導致的季節性乾旱才是影響荔枝產量的核心威脅，即便在年降雨量破兩千毫米的豐雨年份，若缺乏科學化的灌溉介入，作物仍會因無效降雨與秋冬季的氣象乾旱而遭遇水分逆境，透過確立精準計算土壤有效容水量估算出單次所需灌溉水量可將傳統經驗灌溉轉化爲可量化的數據決策，在 2025 極端氣候背景下模擬出 6 個關鍵灌溉起始點，此種精準的排程能有效降低作物遭受乾旱逆境的風險。此模式不僅爲嘉義地區荔枝產業提供穩產與優質的技術支撐，更可作爲台灣未來因應氣候變遷、優化農業水資源配置之參考。

參考文獻

Carr, M. K. V., and C. M. Menzel. 2014. The water relations and irrigation requirements of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.): A review. Exp. Agric. 50(4):481–497. doi:10.1017/S0014479713000653

Dono, G., R. Raffaele C., Luca D., Luca G., Luigi L., Massimiliano P., and Pier Paolo R. 2013. An integrated assessment of the impacts of changing climate variability on agricultural productivity and profitability in an irrigated Mediterranean catchment. Water Resour. Manag. 27:3607–3622. doi:10.1007/s11269-013-0367-3

Ghosh, S. P. 2001. World trade in Litchi: past, present and future. Acta Hort. 588:23–30. doi:10.17660/ActaHortic.2001.558.1

Huang, F., T. Du, S. Wang, X. Mei, D. Gong, Y. Chen, and S. Kang. 2019. Current situation and future security of agricultural water resources in North China. Chin. Eng. Sci. 21(05):28–37. doi:10.15302/J-SSCAE-2019.05.024

Jabeen, M., S. R. Ahmed, and M. Ahmed. 2022. Enhancing water use efficiency and grain yield of wheat by optimizing irrigation supply in arid and semi-arid regions of Pakistan. Saudi J. Biol. Sci. 29(2):878–885. doi:10.1016/j.sjbs.2021.10.018

Kumar, R. 2014. Effect of climate change and climate variable conditions on Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) productivity and quality. Acta Hortic. 1029(1029):145–154. doi:10.17660/ActaHortic.2014.1029.16

Paula Cassel, D. K., and D. R. Nielsen. 1986. Field capacity and available water capacity. p. 901–926. In: Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods. (A. Klute). SSSA and ASA. Madison, Wisconsin, U.S.A. 1188 pp. doi:10.2136/sssabookser5.1.2ed.c36

Pereira, L. S., I. Cordery, and I. Iacovides. 2009. Coping with Water Scarcity: Addressing the Challenges. Springer Dordrecht. 382 pp. doi:10.5860/CHOICE.47-1437

Pereira, L. S., P. Paredes, C. M. Oliveira, F. Montoya, R. L. Urrea, and M. Salman. 2024. Single and basal crop coefficients for estimation of water use of tree and vine woody crops with consideration of fraction of ground cover, height, and training system for Mediterranean and warm temperate fruit and leaf crops. Irrigation Science 42:1019–1058.

R. Subba and M. S. Chandran. 1977. Crop Water Requirements. Agrometeorological Data Collection, Manag. Anal. J. 51. 159 pp.

Si, Z., M. Zain, F. Mehmood, G. Wang, Y. Gao, and A. Duan. 2020. Effects of nitrogen application rate and irrigation regime on growth, yield, and water-nitrogen use efficiency of drip-irrigated winter wheat in the North China Plain. Agric. Water Manag. 231:106002. doi:10.1016/j.agwat.2020.106002

Solomon, S., G. K. Plattner, R. Knutti, and P. Friedlingstein. 2009. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. Proc. Nat. Acad. Sci. 106:1704-09. doi:10.1073/pnas.0812721106

Teng, Y. S. 2005. Lychee Production in Taiwan. Acta Hort. 665:43–46. doi:10.17660/ActaHortic.2005.665.3

Research on Irrigation Management of Lychee

Yau-shian Tsai[1], Wei-Min Siang[1], Yu-Cheng Ko[2], and Jer-Way Chang[3,*]

[1] Assistant Researcher, Agricultural Chemistry Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture; sin310217@tari.gov.tw

[2] Researcher and Branch Director, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute , Ministry of Agriculture; jerway@tari.gov.tw

* Correspondence: axyz0852406@tari.gov.tw;

Abstract

Crop coefficients (Kc) were established for various phenological stages of lychee: 0.4 for the Terminal bud period & Flower bud differentiation period, 0.9 for the reproductive growth stage, and 0.7 for the vegetative growth stage to estimate water requirements at each phase. Based on soil texture analysis at a depth of 60 cm in the experimental field, the Total Available Water (TAW) was estimated at 144.8 mm, with a Readily Available Water (RAW) content of 86.9 mm. Consequently, the calculated water requirement per irrigation event is approximately 102 mm. Although the total annual rainfall in 2025 reached 2504.5 mm, the distribution was extremely uneven. Summer precipitation was highly concentrated, with rainfall doubling to 94.5 mm in May, followed by a period of heavy rainfall from June to September. Conversely, a severe meteorological drought occurred from autumn through the following spring; rainfall was extremely scarce, particularly in November and December, which saw almost no precipitation. While rainfall slightly increased from January to April, it remained at a low level. Finally, using CROPWAT 8.0 to analyze the 2025 measured meteorological data from the Chiayi Agricultural Experiment Branch, the recommended irrigation dates were determined to be April 21, May 19, September 15, October 8, November 6, and December 15.

Keywords: Lychee; Irrigation; Water management

以光代藥 – 特殊光譜防治荔枝細蛾之創新技術產業化運用

方信秀[1]、郝秀花[2,*]、邱國棟[1]、李文立[3,*]

[1] 農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所熱帶果樹系
[2] 農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所植物保護系
[3] 農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所
*聯繫人 e-mail: wenlly@tari.gov.tw

荔枝生產以荔枝細蛾(*Conopomorpha sinensis* Bradley)為最主要的害蟲，只要少量蟲造成大量落果，並大量損害商品價值，主要以化學藥劑進行防治，長期施藥的結果，易使害蟲對藥劑敏感度下降，造成防治效率不佳。多年仔細觀察發現荔枝細蛾對光線相當敏感，篩選特殊波長進行夜間燈照，發現可大幅抑制活動力與產卵量，進而減少果實為害。此技術已於荔枝產業實際運用，推廣至高雄、屏東、台南、台東、台中、新竹與宜蘭等地，部分地區田間危害率由 60% 降低至 0 - 2%，為相當高效的防治方法。有助於減少蟲害損失，農藥減半使用、提升消費者食用安全與友善環境，為相當節能、省工及高效率的防治技術。

關鍵字：荔枝細蛾、燈照防治、農藥減量

引言

荔枝（Litchi, *Litchi chinensis* Sonn.）屬無患子科（Sapindaceae）的亞熱帶與熱帶常綠果樹。因風味、外觀與豐富的營養成份，為廣受歡迎的水果之一 （Zhao et al., 2020）。荔枝花芽分化需要低溫刺激（Chen et al., 2003），產地分佈於南北迴歸線一帶，以中國、印度、越南、馬達加斯加、台灣、泰國等國家為主要生產國（Kashyap et al., 2017, Lora et al., 2018, Dung et al., 2019）。2023 年臺灣荔枝總種植面積為 9,576 公頃，種植地區集中於臺灣中南部，其中以高雄市 3,057 公頃、臺中市 1,805 公頃及南投縣 1,318 公頃為主(農糧署農情報告資源網，https://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp)。

圖 1：荔枝細蛾喜好停留於樹幹下方，為害果實種子導致嚴重落果。

荔枝細蛾（*Conopomorpha sinensis* Bradley）是危害荔枝果實的主要害蟲之一（圖 1）。成蟲受嫩葉、花與果實的香氣物質所吸引（Meng et al., 2018)(圖 1)。若不適度防治，荔枝細蛾危害率可達 100%。目前主要減少荔枝細蛾密度的防治方式為化學藥劑防治(Hung et al., 2008; Yao et al., 2018)。過去曾開發性費洛蒙誘引方式（Zhiping, 2014）或套袋方式（Wang et al., 2019）減少荔枝細蛾的危害率，但目前尚未普及運用於荔枝產業。為了減少農藥使用與減少抗藥性的發生，應適度開發非農藥防治的方式輔助減少害蟲。物理防治方式相當有開發潛力，燈光誘引或是燈光驅避為值得投入的領域並可導入整合性蟲害管理（integrated pest management, IPM）共同防治（Kim et al., 2019; Shimoda and Honda 2013; Pan et al., 2021; Park and Lee, 2017) (圖 2)。

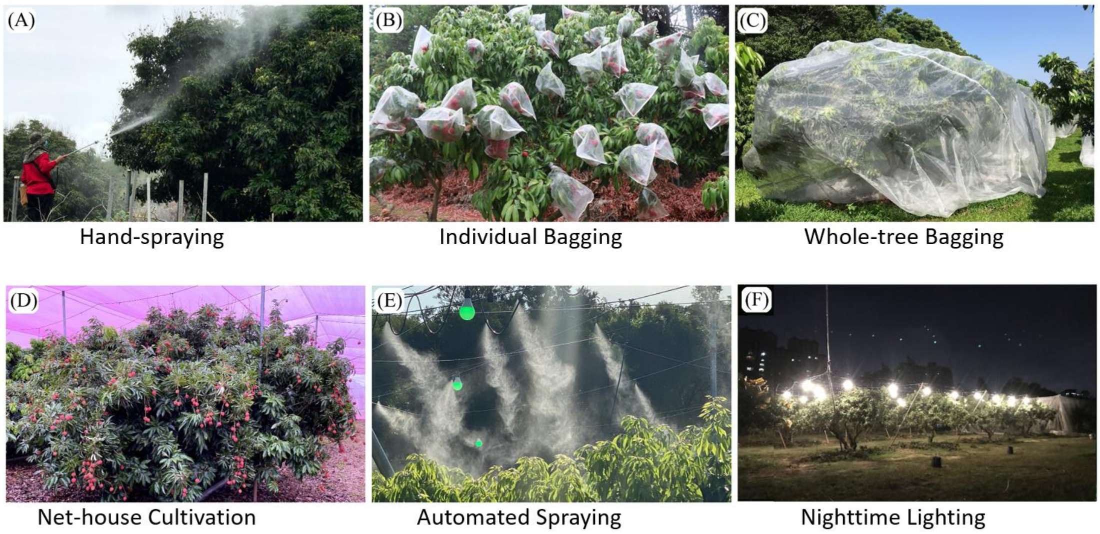

圖 2：農試所鳳山分所持續開發多種方式防治荔枝細蛾

荔枝細蛾夜晚活動力旺盛且繁殖力強

荔枝細蛾主要危害部位爲花與果實。荔枝細蛾卵期只有 3 天，幼蟲期 9 天，蛹期 7 天，成蟲可活 6-15 天，荔枝細蛾繁殖量相當高，平均每雌產卵數約 167 - 235 顆（洪等。2002)。荔枝細蛾危害果實蒂頭處造成嚴重落果、減少荔枝產量、降低品質與收益損失 (Dong et al., 2015)。只要有少數蟲害發生，就會機會造成嚴重損失。

有關荔枝細蛾對光照環境之研究正開始起步，荔枝細蛾於 24 h 全光照的條件下，產卵前期延長爲 10.67 天，顯著高於其它處理的 2.00 - 4.67 天，單一雌蟲平均產卵量爲 0.47 粒，顯著低於全暗處理 136.33 粒，田間以夜間光照 70 -130 lux 和 2 - 70 lux 的荔枝細蛾平均危害率分別爲 2.91% 和 3.65%，顯著低於慣行用藥處理 25.87% (Wang et al., 2020)。使用 LED 白燈光照強度愈強，則荔枝細蛾活動力愈低，亦會延後數天交配，夜間不同光照強度對成蟲壽命以及卵孵化率無顯著性影響 (Li et al., 2021)。

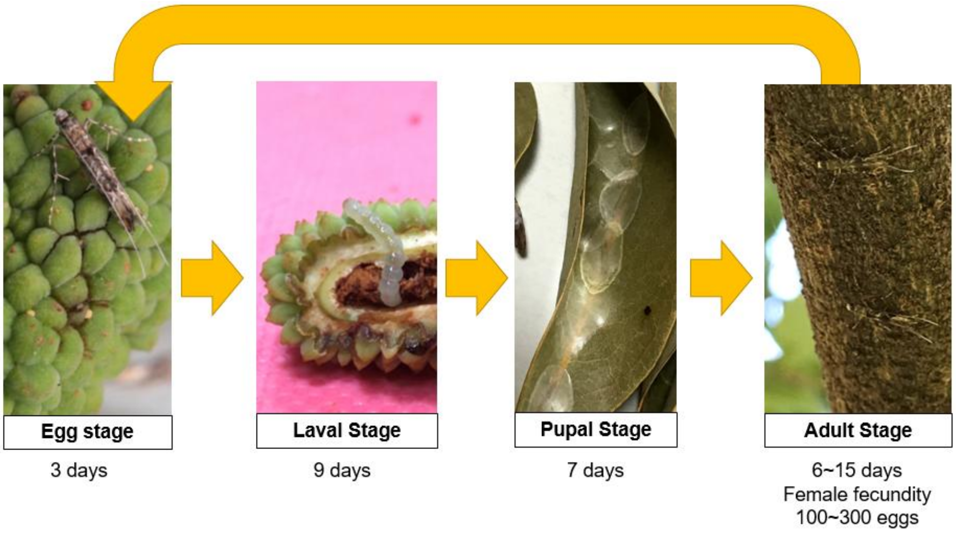

圖 3：荔枝細蛾約 22 天至 25 天即完成 1 個世代的繁殖。

經過 24 小時攝影紀錄荔枝細蛾成蟲活動能力，結果發現荔枝細蛾於白天接近停止

狀態，主要在夜間活動，於半夜的活動力達到最高峰，至天亮時，荔枝細蛾的活動力又漸漸的減少，觀察錄影影片，可發現天亮時，荔枝細蛾仍會活動，但此時應於找尋較陰暗處躲藏。藉著荔枝細蛾夜間活動的特性，如果在夜間進行燈照，有機會因停止活動、交配與進食，減少對荔枝的爲害（圖 4）。

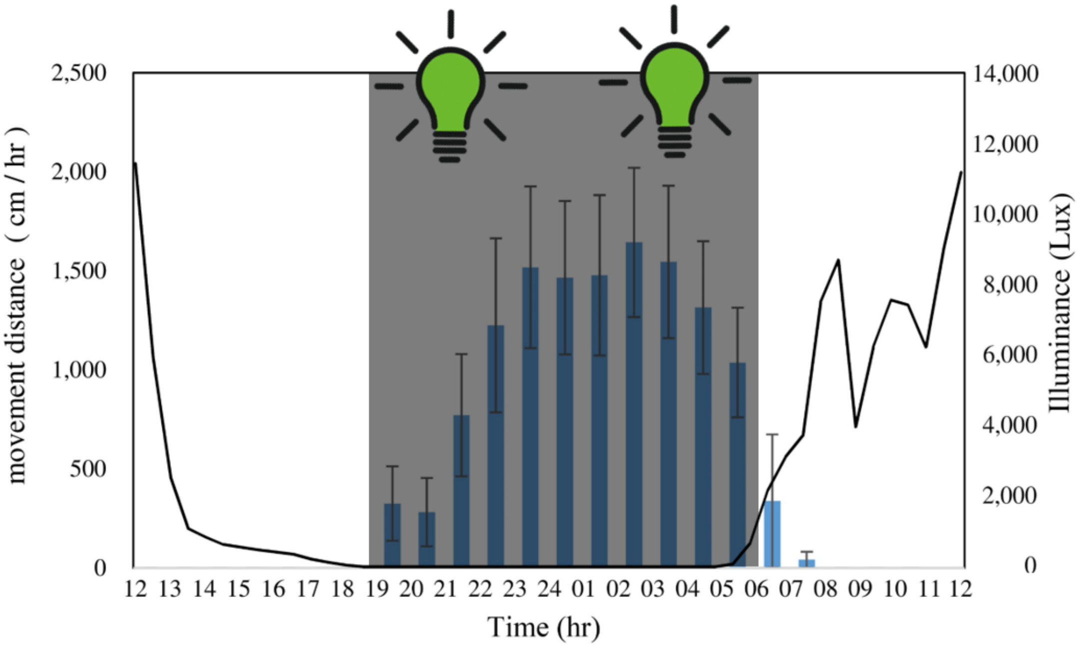

圖 4、荔枝細蛾連續 24 小時的活動距離觀測結果

進一步於田間玉荷包荔枝植株設置紫光、藍光、綠光、黃光、紅光、遠紅光與混合波長 MixW 與 MixY 等 8 種光照環境與套袋處理，觀察果實受荔枝細蛾的危害率。試驗結果顯示，夜間黑暗處理危害率達 72% 顯著較其它處理嚴重。紫光、黃光、紅光與遠紅光的危害率爲 36%、32%、32% 與 38% 次之，而藍光、綠光、混合白光 MixW 和混合黃光 MixY 的危害率爲 10%、6%、16% 與 18% 顯著較低（圖 5），套袋處理的危害率 0% 是危害率最低的處理。

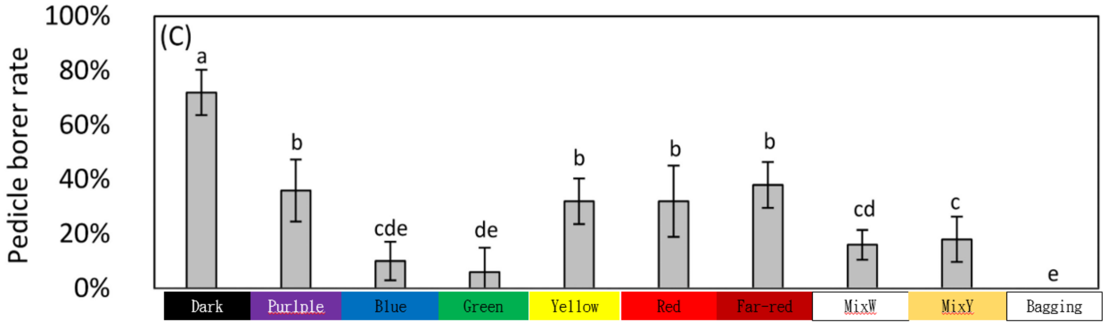

圖 5：玉荷包荔枝夜間進行不同光波長防治試驗之果實危害率調查

荔枝主產地驗證實測具有優良防護效果

於鳳山分所確定藍光、綠光與混合白光波長對防治荔枝細蛾有良好效果後，進一步於高雄大樹、屏東里港和高雄杉林荔枝產區擴大試驗，以觀察大面積夜間燈照防治的效果。於高雄大樹區的試驗結果如圖 6A 顯示，沒有進行藥劑與燈光防治的果實荔枝細蛾危害率爲 61%，而果實生長期進行 8 次藥劑防治的危害率爲 1%，只有進行夜間綠光照射

的危害率爲 2%。可見夜間燈照的防治效果與藥劑防治接近，成效良好。屏東里港試區爲慣行施藥荔枝園，夜間燈照試驗結果如圖 6B 所示，夜間燈照藍光、綠光與混合白光的爲害率於 0-2% 間，無燈照對照組爲 36%，夜間燈照大幅減少荔枝細蛾爲害。連續 2 年未使用任何化學藥劑的杉林試區（圖 6C），無燈照對照組於採收時因已全數受荔枝細蛾爲害，無果實可調查，而藍光、綠光與混合白光的爲害率介於 4 到 10% 之間。

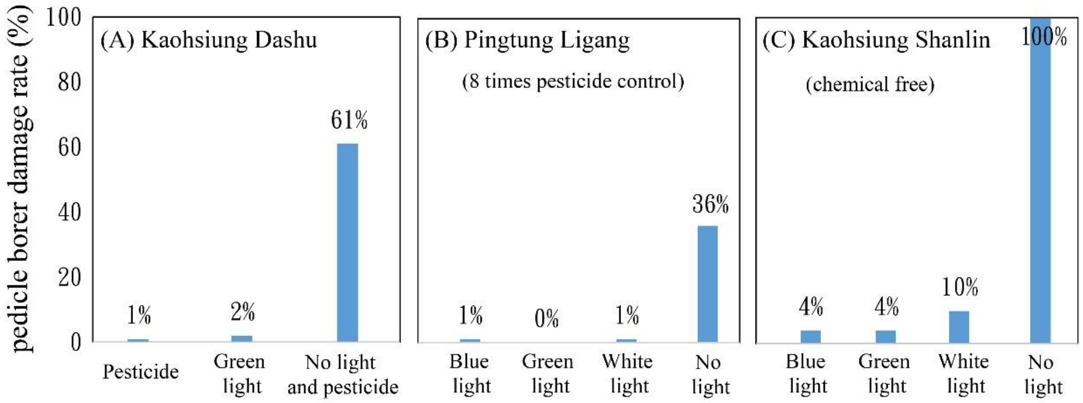

圖 6：111 年 3 個荔枝產區的夜間燈照試驗荔枝細蛾爲害率。(A)高雄大樹區、(B)屏東里港鄉、(C)高雄杉林區。

屏東里港試區於採收期調查黑暗與綠光的果實數量。試驗結果顯示，綠光環境平均每穗荔枝果實數量大幅較黑暗高，無光環境因爲危害率高，造成嚴重落果，可見若適當導入綠光夜間燈照輔助防治荔枝細蛾，有助於大幅減少果實危害損失，有助於增加農民收益（圖 7）。

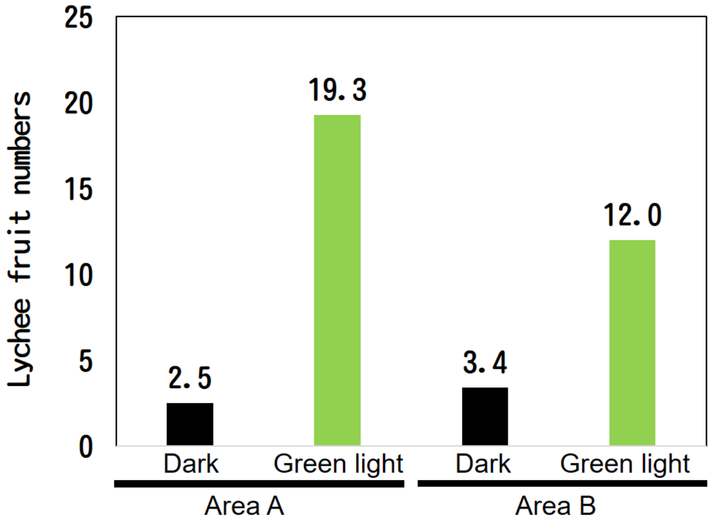

圖 7：屏東里港試區採收期黑暗對照區與綠燈區之果實數量比較

夜間綠光燈照有助於大幅減少農藥使用

由於夜間燈照荔枝細蛾可大幅減少荔枝細蛾的活動，用藥量即可大幅減少，荔枝慣行栽培普遍於著果後每 7 天施用一次殺蟲藥進行荔枝細蛾防治，於採收前 7-10 天停止用藥，約施用 6-10 次的藥劑。使用夜間燈照輔助荔枝細蛾防治可拉長施藥間隔，約施用 2-4 次的藥劑即可達到相當良好的防治效率。

高雄大樹區蔣姓農民於開花期即開始進行夜間燈照，不影響開花著果，且可在荔枝

細蛾密度增加之前，即開始燈照抑制荔枝細蛾族群密度，由於開花著果後仍有荔枝椿象與尺蠖等害蟲為害，於著果初期使用兩次藥劑進行田中害蟲密度控制，之後完全沒有施用殺蟲藥劑至採收，採收時進行藥劑殘留檢驗已達到農藥零檢出。除了大幅減少 7 成的農藥使用，消費者食用安全大幅提升（圖 8）。

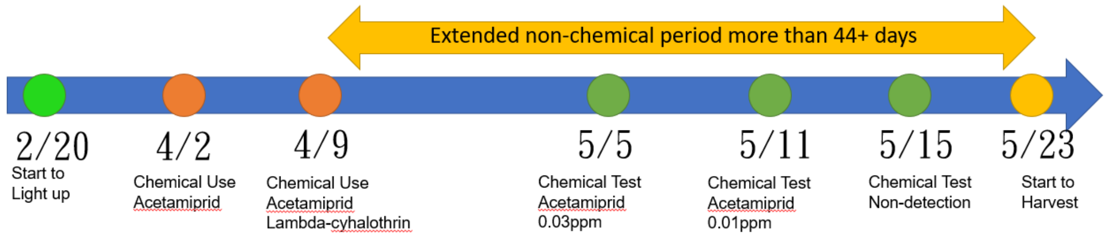

圖 8：使用夜間綠光燈照防治荔枝細蛾之用藥與農藥殘留分析歷程表

綠光較白光可保持良好荔枝品質且不易吸引其它昆蟲

雖然藍光、綠光以及混合白光對荔枝細蛾都有良好的抑制效果，進一步分析果實重量，綠光、遠紅光與混合黃光處理的平均果實重量分別為 29.8 g、29.1 g 與 29.1 g，顯著高於混合白光、紫光、藍光、黃光和紅光處理的果實平均重量 26.6、21.1、23.4、23.0、23.0 g。可溶性固型物含量亦以夜間綠光可溶性固型物含量平均為 19.3 °Brix，顯著高於夜間藍光與混合白光的 17.5°Brix 與 17.8°Brix （Fang et al., 2023 ）。只有綠光處理完全不會影響果實的品質，比白光與藍光有較高的果實重量與可溶性固型性，為夜間燈照防治荔枝細蛾的最佳選擇。

為了解不同波長燈照於荔枝產地吸引其它非目標昆蟲的情形，於高雄杉林試區夜間進行藍光、綠光、紅光 與混合白光燈照誘引疣胸琉璃蟻與其它昆蟲試驗。試驗結果顯示，4 種不同波長光線皆沒有吸引到荔枝細蛾，藍光與混合白光 MixW 對疣胸琉璃蟻與部分小型昆蟲有很強的吸引力，每個藍光與混合白光 MixW 黏蟲板於 3 個夜晚總共捕捉超過 1,100 隻昆蟲，相較之下綠光對疣胸琉璃蟻與部分小型昆蟲的吸引力約 600 隻，而紅光與無光對照組對昆蟲的吸引力較其它處理低（圖 9）。

結語

使用燈照進行荔枝細蛾防治的效果相當好，但同時需要兼顧減少對生態環境的干擾，亦要避免吸引其它昆蟲。高雄杉林與部分產區有疣胸琉璃蟻的族群，每年 7 到 10 月為婚飛期，大量琉璃蟻受路燈或居家照明吸引，對田間工作與居家生活造成嚴重困擾，目前大多使用藍、白燈誘殺或於戶外佈設餌劑減少族群密度（Huang, 2018; Chen et al., 2020）。本試驗篩選在荔枝生產使用的綠光，對荔枝細蛾有良好的防治效果，又不會影響荔枝果實品質，在疣胸琉璃蟻與其它蟲害的吸引力也較藍光或白光少（圖 9），應用在荔枝生產上，可減少對生產與環境的影響。

此套夜間燈照技術目前已建立基本架設方式供農民參考，本試驗使用燈距 4 m 與行距 6 m 的條件防治效果良好，燈具架設位置最好於株與株之間，可以減少荔枝果實成熟下垂時之燈照死角。夜間燈照防治技術經多年開發、驗證，為實際可行的防治技術，已吸引荔枝栽培農民導入生產使用，架設方式亦持續精進改良。相較化學藥劑對果園環境昆蟲全面撲殺，綠光燈照防治為相當友善環境的防治方式（圖 10）。目前本燈照技術已推度至全台荔枝產區，包括高雄、屏東、台東、新竹、台中，已超過 30 個農地使用，持續

有農民表達使用意願，推廣面積持續增加中（圖 11）。夜間燈照技術爲簡易可行又高效的防治方式。可提升農民、消費者安全，增加內外銷農藥殘留合格率，有助於創造品牌價值與友善環境目標，爲具有發展潛力的創新技術，目前已著手於宜蘭縣三星鄉進一步針對青蔥的主要害蟲甜菜夜蛾（*Spodoptera exigua*）進行夜間燈照防治研究，結果顯示可有效抑制甜菜夜蛾活動力，有潛力成爲燈照防蟲技術擴散的新興領域。

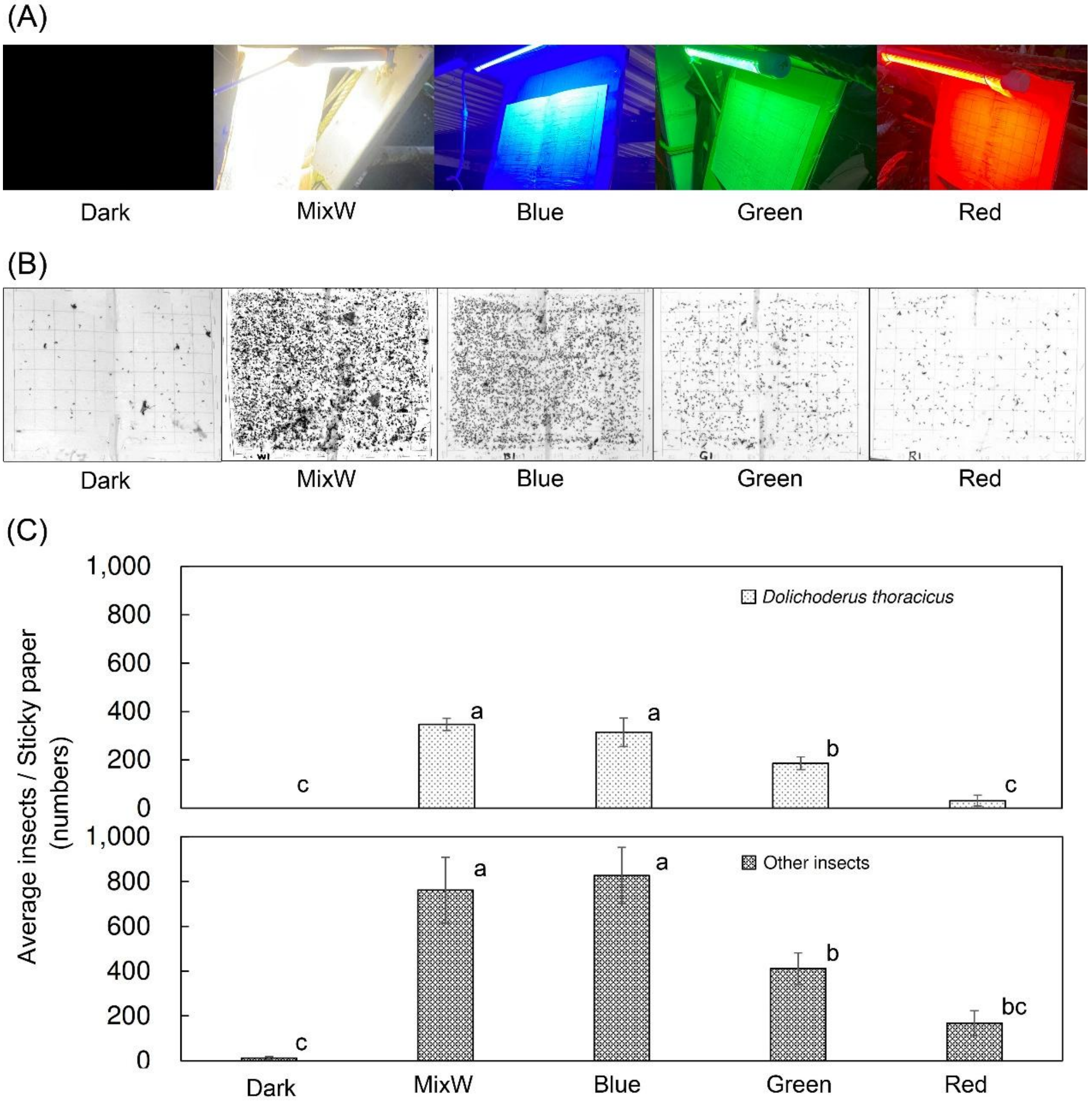

圖 9、夜間不同波長 LED 燈照誘引疣胸琉璃蟻與其它昆蟲數量統計。（A）不同波長光源黏蟲板設置情形；（B）不同波長光源黏蟲板誘引昆蟲情形；（C）不同波長光源處理白色黏蟲板平均誘引昆蟲數量（n =3）。

圖 10、夜間燈照針對目標害蟲進行精準防治，較全面施藥殺蟲相對友善

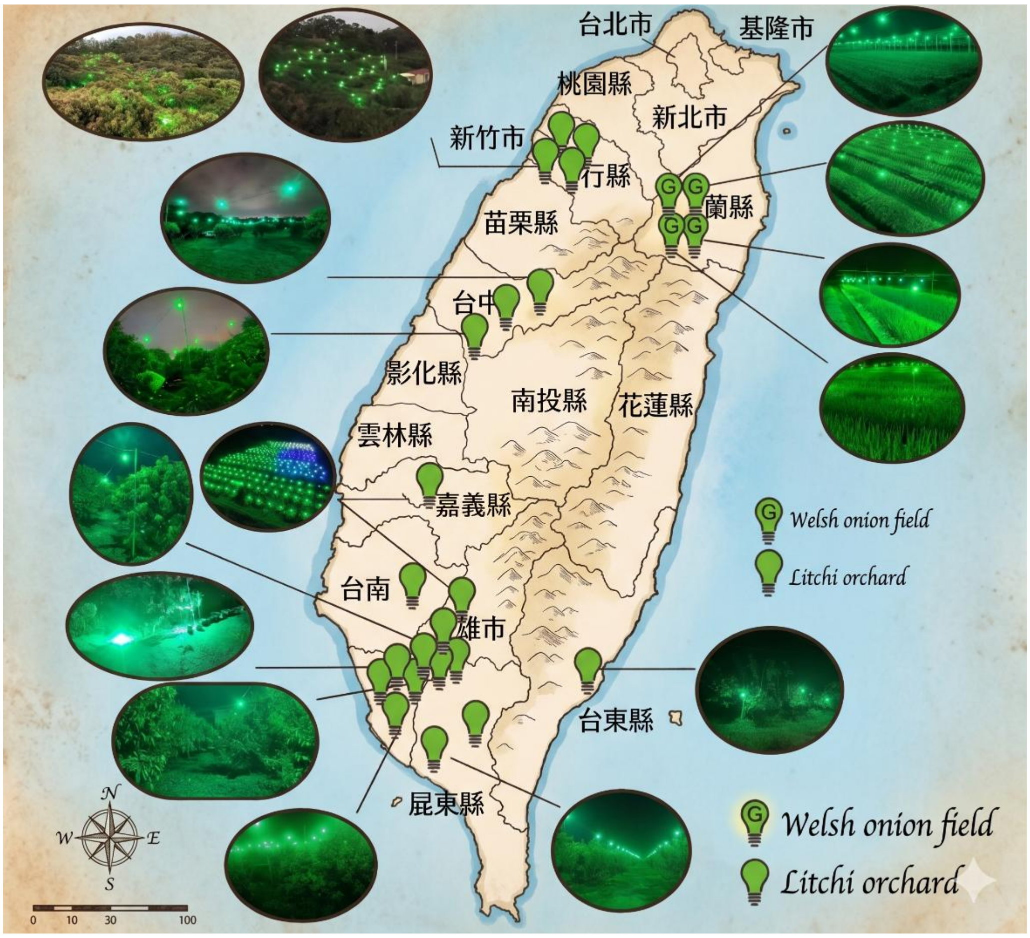

圖 11、夜間燈照防治特定害蟲之全台燈照推廣現況

參考文獻

洪巧珍、江碧媛、黃振聲 2002。荔枝細蛾（*Conopomorpha sinensis* Bradley）之飼育技術及其羽化與交尾行為。植物保護學會會刊 44(2): 89-99。https://doi.org/10.6715/PPB.200206_44(2).0003。

Chen, H. B., & Huang, H. B. 2003. Low temperature requirements for floral induction in lychee. pp. 195-202. In Chomchalow N., & Sukhvibul N. (Eds.). II International Symposium on Lychee, Longan, Rambutan and other Sapindaceae Plants.

Chen, Y.F., Hsu, F.C., & Lin, C.C. (2020). Effects of elevations and vegetation types on the ground-dwelling ant community structures. *Experimental Forest of National Taiwan University Bulletin* 34 (1): 1-14.

Dong, Y., Xu, S., Chen, B., Yao, Q., & Chen, G., 2015. Determination of larval instars and developmental duration of each stage at different temperatures of the litchi fruit borer, *Conopomorpha sinensis* (Lepidoptera: Gracillariidae). Acta Entomologica Sinica 58: 1108-1115. https://doi.org/CNKI:SUN:KCXB.0.2015-10-009.

Dung, N. V., Nghi, D. Q., Hung, N. Q. and Huy, N. Q. 2020. Current production and development trends of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) in Vietnam in the coming future. Acta Horticulturae 1293: 7-14. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1293.2.

Fang, H. H., Lee, W. L., Chiu, K. T., Ma, H. Y., Yang, S. H., Hung, C. Y., Chen H. L., Tung, C. W., & Tsai, Y. C. 2023. Irradiation with green light at night has great effects on the management of *Conopomorpha sinensis* and maintains favorable litchi fruit quality. Scientia Horticulturae 312: 111830.

Hung, S. C., Ho, K. Y., & Chen, C. C. 2008. Investigation of fruit damages of litchi caused by *Conopomorpha sinensis* Bradley and *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in Chiayi. Journal of Taiwan Agricultural Research 57: 143-152. https://doi.org/10.6156/JTAR/2008.05702.06.

Huang, J. Y. (2018). Special lecture: Preventive strategy for harmful ant species. *Nature Conservation Quarterly* 103: 86-87.

Kashyap, A. S., & Thakur, N. 2017. Problems and Prospects of Lychee Cultivation in India. In Kumar, M., Kumar, V., Bhalla-Sarin, N., & Varma, A. (Eds.) Lychee Disease Management. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4247-8_9.

Kim, K. N., Huang, Q. Y., & Lei, C. L. 2019. Advances in insect phototaxis and application to pest management: A review. Pest Management Science 75(12): 3135-3143.

Li, W. J., Quan, L. F., Dong, Y. Z., Yao, Q., Xu, S., & Chen, B. X., 2021. Study on the effects of white LEDs on reproduction of *Conopomorpha sinensis* (Lepidoptera: Gracillariidae) and its field application. Journal of fruit science 38: 1349-1358.

Lora, J., Pham, V. T., & Hormaza, J. I. 2018. Genetics and breeding of fruit crops in the sapindaceae family: Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) and longan (*Dimocarpus longan* Lour.). In Jameel, A., Shri, M. J., & Dennis V. J. (Eds.) Advances in Plant Breeding Strategies: Fruits: Volume 3, 953-973.

Meng, X., Hu, J., Li, Y., Dai, J., Guo, M., & Ouyang, G. 2018. The preference choices of *Conopomorpha sinensis* Bradley (Lepidoptera: Gracilariidae) for litchi based on its host surface characteristics and volatiles. Scientific Reports 8(1): 2013. https://doi.org/10.1038/s41598-018-20383-4.

Pan, H., Liang, G., & Lu, Y. 2021. Response of different insect groups to various wavelengths of light under field conditions. Insects 12: 427. https://doi.org/10.3390/insects12050427.

Park, J.H., & Lee, H.S., 2017. Phototactic behavioral response of agricultural insects and stored-product insects to light-emitting diodes (LEDs). Applied Biological Chemistry 60: 137-144. https://doi.org/10.1007/s13765-017-0263-2.

Shimoda, M., & Honda, K. I. 2013. Insect reactions to light and its applications to pest management. Applied Entomology and Zoology 48: 413-421.

Wang, F. Y., Li, L. F., Wei, Q.X., Gu, Y. L., Huang, C., Liao, R. Z., & Liao, S. C. 2020. Effects of different light environments on oviposition of *Conopomorpha sinensis* and its control efficacy in field. South African Journal of Agricultural Science 51: 313-318.

Wang, T. C., Chang, J. W., & Chang, J. Y. 2019. Assessment of bagging protection at different timings and mesh sizes for controlling litchi fruit borer (*Conopomorpha sinensis* Bradley) on Litchi 'Tainung No. 1'. J. Agric. Res. 68, 40-46.

Yao, Q., Xu, S., Dong, Y., Que, Y., Quan, L., & Chen, B. 2018. Characterization of vitellogenin and vitellogenin receptor of *Conopomorpha sinensis* Bradley and their responses to sublethal concentrations of insecticide. Frontiers in Physiology 9: 1250. https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01250.

Zhao, L., Wang, K., Wang, K., Zhu, J., & Hu, Z. 2020. Nutrient components, health benefits, and safety of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.): A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 19(4), 2139-2163. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12590.

Zhiping, L. 2014. Preliminary study on the trapping effect of sex pheromone in *Conopomorpha sinensis* Bradley. Beijing Agriculture 12: 11-12.

Light as Medicine: Industrial Application of Innovative Special Spectrum Technology for Litchi Fruit Borer *(Conopomorpha sinensis Bradley)* Control

Hsin-Hsiu Fang[1], Hsiu-Hwa Hao[2], Kuo-Dung Chiou[1] and Wen-Li Lee[2,*]

[1] Department of Tropical Fruit Trees, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture
[2] Department of plant protection and utilization, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture
[3] Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture
* Correspondence: wenlly@tari.gov.tw

Abstract

The litchi fruit borer (*Conopomorpha sinensis* Bradley) is the most critical pest in litchi production; even small populations can cause significant fruit drop and severely diminish market value. While chemical control is the traditional standard, long-term reliance on pesticides has led to reduced pest sensitivity and declining efficacy. Recent research involving meticulous behavioral observation revealed that the litchi fruit borer is highly sensitive to specific light spectra. By deploying screened wavelengths for nocturnal lighting, this technology significantly suppresses pest activity and oviposition, thereby minimizing fruit damage. Currently, this method has been successfully industrialized and implemented across major production regions including Kaohsiung, Pingtung, Tainan, Taitung, Taichung, Hsinchu, and Yilan. As a highly efficient, energy-saving, and labor-reducing solution, this innovative technology effectively halves pesticide use, enhances food safety, and fosters environmental sustainability.

Keywords: Litchi, LED, Pesticide reduction, IPM

外銷荔枝病蟲害與用藥風險管控研究 -輸澳大利亞荔枝案例

吳昭蓉[1]、許祐昇[1*]

[1] 農業試驗所嘉義農業試驗分所植物保護系
*聯繫人 e-mail: hyspt@tari.gov.tw

本文分享由農試所荔枝品項團隊於輸澳荔枝之實務操作與用藥管理上的策略選擇，聚焦臺灣荔枝外銷澳大利亞之病蟲害管理與藥劑風險控管及出口流程中需克服臺、澳兩地在農藥殘留標準上的差異。爲符合澳大利亞嚴格的輸入規範，團隊研擬一套適用於輸澳荔枝之用藥策略並進行驗證，結果顯示其防治效果可與現行慣行用藥相當。此外，研究亦針對低溫儲藏期間的病害發生與管理進行探討，發現微生物 *Alternaria* spp. 在輸澳檢疫處理所需的低溫條件下可能扮演加速果實腐敗的角色，進一步試驗顯示，使用二氧化氯與檸檬酸等非農藥資材可延緩荔枝的褐化腐敗程度。此外，本文亦介紹目前運用無人機與深度學習技術進行荔枝椿象精準防治的發展現況及未來降低農藥使用量並節省人力成本的應用潛力。本文所彙整之外銷輔導經驗，可作爲臺灣水果出口至其他國家時，在實務操作與病蟲害管理策略上的重要參考。

關鍵字：荔枝、澳大利亞、農藥殘留、病蟲害管理

引言

荔枝為臺灣重要的果樹作物，因其獨特風味深受消費者喜愛，全臺種植面積逾 9,000 公頃，年產值約 30 至 50 億元新臺幣，雖屬季節性水果，但在國內市場仍占有穩定的地位。荔枝主要蟲害包括荔枝細蛾（*Conopomorpha sinensis*）與荔枝椿象（*Tessaratoma papillosa*）等（Regmi 2022; Waite & Hwang 2002），病害則以炭疽病（*Colletotrichum siamense*）與露疫病（*Peronophythora litchi*）為主（Ann et al. 1984, 2004）。現行管理上，化學藥劑仍為病蟲害防治的主要手段，然而若過度施藥或未遵守安全採收期規範，可能導致農藥殘留超標，引發食安疑慮。

近年來，我國積極推動農產品拓展海外市場，不僅能調節因產期與產量集中所造成的價格波動，也有助於降低對單一市場的依賴，配合新南向政策推動，在目標的 18 個國家中，澳大利亞為重要外銷拓展市場之一。澳大利亞亦是農業生產大國，具有一定規模的荔枝栽培面積與產量，但因南、北半球季節相反，臺灣荔枝產季恰逢澳大利亞冬季，使臺灣荔枝具有在該市場的競爭優勢。此外，澳方為保護其國內農業，對輸入農產品訂有嚴格檢疫要求與農藥殘留標準，若能順利出口至該市場，亦顯示我國在農產品生產管理與品質掌控制具備相當水準。

農試所參與之荔枝品項團隊於 111 至 113 年間輔導農友將荔枝外銷至澳大利亞，期間經歷多面向的問題與各種挑戰，本文旨在探討並分享外銷荔枝於病蟲害管理上可能面臨的挑戰、因應與解決策略，以及未來可精進之方向，期望以此作為日後其他果品外銷時之實務參考與管理策略借鏡。

荔枝外銷輸澳概況及挑戰

根據我國農業部動植物防疫檢疫署於 2013 年公布之「臺灣產荔枝鮮果實輸往澳大利亞檢疫條件」，我國屬東方果實蠅（*Bactrocera dorsalis*）及荔枝細蛾發生區，除供果園須完成查核與造冊管理外，荔枝鮮果實於出口前必須接受蒸熱、低溫或輻射三選一的檢疫處理。相較於外銷日本之荔枝多採用蒸熱處理，輸往澳大利亞的果品多以低溫處理為主，依規定，低溫處理條件包括：在 0.99°C 以下處理 17 天，或在 1.38°C 以下處理 20 天，依運輸方式不同可選擇於國內完成低溫處理後再以空運出口，亦可採海運方式於運送途中進行低溫處理。

荔枝品項團隊於 111 年及 112 年分別輔導高雄種植'玉荷包'農友出口 1.5 公噸及 1.8 公噸荔枝至澳大利亞，經盤點輸澳過程中所面臨之挑戰，主要可歸納為兩大面向：其一為運輸設備之成本與效益評估，其二為藥劑選擇受限及用藥時機掌控不易。在運輸方面，由於荔枝保鮮期短，採用低溫處理後再以空運方式出口，可大幅縮短運輸時間並維持果實品質，然而，空運成本高昂，且有冷鏈中斷的問題。相較之下，海運成本顯著較低，但須面對較長的運輸時間，雖可於運輸途中進行低溫處理以節省部分時間，惟冷藏設備之穩定性為一大關鍵風險，若運輸過程中溫度回升超過臨界值，則須重新計算低溫處理時間，進而延長檢疫及通關作業，此外，船期銜接不確定性亦可能進一步拉長整體運輸時程。在藥劑使用方面，則為澳大利亞與我國對荔枝對於可用藥劑之規範差異性，我國多支推薦用藥在澳大利亞尚未訂定最大殘留容許量（maximum residue limit, MRL），依規定不得檢出，此外，部分藥劑之 MRL 標準亦較我國更為嚴格，於接近安全採收期時須審慎使用。如何在藥劑選擇受限以及符合澳大利亞殘留標準的前提下，仍能有效控制病蟲害，遂成為外銷生產管理中的重要挑戰。

輸澳荔枝用藥風險管控

綜觀 111 至 113 年間澳大利亞對外銷荔枝的農藥管理規範，其對不同藥劑的最大殘留容許量（MRL）每隔一段時間便有些微調整，每年生產季開始前須參考澳大利亞政府官方網站，以取得最新的 MRL 標準，此外，澳大利亞對 MRL 採正面表列制度，凡未列入標準者皆視爲不得檢出。

以 112 年我國與澳大利亞所訂定之最大殘留容許量（MRL）爲例，若以一般慣行耕作之荔枝農友常用藥劑進行比較，可觀察到臺澳雙方在殘留量之訂定上存在明顯差異。例如我國防治荔枝椿象之殺蟲劑丁基加保扶與賽洛寧，在澳大利亞均屬不得檢出之藥劑，至於可用於防治荔枝細蛾的殺蟲劑亞滅培與加保利，我國訂定之 MRL 分別爲 2.0 及 0.5 ppm，而澳大利亞爲 0.5 與 0.01 ppm，澳大利亞規範較我國嚴格。因此，我國訂定此兩種藥劑安全採收期不適用在外銷澳大利亞之荔枝栽培管理，必須延長用藥至採收之間隔，使藥劑殘留降至標準以下；在病害防治上，用以控制露疫病的福賽快得寧及錳錳克絕，於澳大利亞均爲不得檢出，僅能於產季前期施用。而農友慣用的亞托敏，其 MRL 在我國與澳大利亞分別爲 1.0 與 0.1 ppm，澳大利亞標準較嚴格，在一般施藥習慣下，輸澳荔枝出現亞托敏殘留超標的風險較高。相反地，二硫代氨基甲酸鹽類之 MRL 在我國與澳大利亞分別爲 2.0 與 5.0 ppm，澳大利亞標準較爲寬鬆。此類藥劑包括鋅錳乃浦、免得爛與甲基鋅乃浦等，其中鋅錳乃浦可用以控制露疫病，外銷澳大利亞可考慮使用。

表 1、輸澳藥劑處理組用藥情形（113 年）

日期	藥劑或處理
4 月 15 日	賽洛寧、福賽快得寧
4 月 24 日	賽普護汰寧、加保利、第滅寧
5 月 7 日	賽普護汰寧、鋅錳乃浦、亞滅培、第滅寧
5 月 17 日	三氟派瑞、亞滅培
5 月 28 日	鋅錳乃浦、大滅松
6 月 3 日	採收

表 2、慣行處理組用藥情形（113 年）

日期	藥劑或處理
4 月 12 日	第滅寧、亞滅培、福賽快得寧
4 月 22 日	芬殺松、亞滅培、福賽快得寧
5 月 3 日	大滅松、亞滅培、福賽快得寧
5 月 13 日	第滅寧、亞滅培、福賽快得寧、大滅松
5 月 27 日	芬殺松、加保利
6 月 3 日	採收

爲掌握適當施藥時機及安全採收期之可能範圍，113 年於本分所古坑農場初步建立一套輸澳荔枝用藥策略（表 1），並與慣行施藥方式（表 2）進行對照試驗，同時調查兩種施藥處理下主要病害（表 3）及蟲害（表 4）之發生情形。結果顯示，在病害方面，兩處理組皆未發現荔枝炭疽病，顯示兩種施藥方式對炭疽病均具良好防治效果，慣行處理組之露疫病發生率爲 3.6%，亦屬輕微發生程度，而處理組之露疫病發生率則爲 0。於蟲害方面，荔枝椿象與東方果實蠅在輸澳藥劑處理組及慣行處理組中皆未觀察到危害，危害率皆爲 0%，然因試驗設計未進行施藥前調查及未設置空白對照組，此結果無法排除係受田間害蟲背景族群密度偏低之影響；惟結果至少證實，兩種處理在試驗期間均能維持荔枝未受荔枝椿象及東方果實蠅危害之狀態。此外，分析荔枝細蛾之發生情形，每顆果實平均產卵數於輸澳藥劑處理組爲 0.5 ± 0.2 粒，慣行處理組爲 0.8 ± 0.3 粒，兩者間未達統計顯著差異。在果實危害率方面，輸澳藥劑處理組爲 7.5 ± 5.0%，慣行處理組爲 22.5 ± 20.6%，同樣未達統計顯著差異。綜合上述結果，輸澳藥劑處理防治效果與慣行施藥處理間並無顯著差異，兩種處理效果相當。此外，針對兩處理組果實進行糖度分析，慣行處理組平均爲 17.56 ± 0.98 °Bx，輸澳藥劑處理組爲 17.82 ± 0.51 °Bx，兩者間亦未達統計顯著差異。

表 3、田間重要病害調查結果

	發生率(%)[x]	
病蟲害種類	輸澳藥劑處理組	慣行處理組
荔枝露疫病(*Peronophythora litchii*)	0	3.6
荔枝炭疽病(*Colletotrichum* spp.)	0	0

[x] 發生率（%）=（有病徵之葉片數/調查之總葉片數）× 100%

表 4、重要蟲害發生情形

蟲害種類	輸澳藥劑處理組	慣行處理組
荔枝椿象		
枝梢危害率（%）	0	0
東方果實蠅		
果實危害率（%）	0	0
荔枝細蛾		
平均產卵數（粒）/每顆果實(Mean ± SD)	0.5 ± 0.2[a]	0.8 ± 0.3[a]
果實危害率（%）(Mean ± SD)	7.5 ± 5.0[a]	22.5 ± 20.6[a]

每一欄中標示相同字母之平均值，根據 t 檢定（p = 0.05）結果，彼此之間沒有顯著差異。

比較藥劑殘留情形並對照我國與澳大利亞之 MRL 標準（表 5）可知，慣行施藥處理組中，加保利與第滅寧之殘留量均超過澳大利亞標準；而輸澳荔枝用藥處理組中，第滅寧殘留亦略高於澳大利亞標準，其餘藥劑則皆已降解至符合澳大利亞規範。此外，在 111 至 113 年期間，針對高雄大樹地區不同農友管理之'玉荷包'荔枝園區，品項團隊實地監測施藥後經過日數與藥劑殘留量之關係。結果顯示，第滅寧之降解趨勢變異較大，呈現明顯波動，其衰退並不符合線性模式（圖 1）。故在輸澳藥劑使用策略上，第滅寧的安全採收期仍需適度延長，即須提早停止施藥，或在接近採收階段時調整為澳大利亞標準較為寬鬆之替代藥劑（如大滅松）；相對而言，亞托敏之殘留較有隨時間降低之趨勢（圖 2）。綜合上述結果，可初步掌握輸澳荔枝用藥之施用順序與時程，然而，田間藥劑之降解速率除受藥劑本身理化特性影響外，亦與種植地區光照、氣溫及降雨等環境因子相關，特定藥劑如第滅寧之衰退更需格外注意，因此，仍需持續進行相關試驗與長期監測，以累積更多數據，進而建立穩定且可預測之生產管理體系。

表 5、農藥殘留檢測結果

處理	檢測項目	檢測結果 ppm (mg/kg)	我國容許量 (mg/kg)	我國安全採收期 (天)	澳大利亞容許量 (mg/kg)
輸澳藥劑	二硫代胺基甲酸鹽類	未檢出	2.0	-[x]	5[x]
	亞滅培	0.04	2.0	7	0.2
	賽普洛	0.01	1.0	12	2
	大滅松	0.41	0.5	-[y]	5
	護汰寧	0.03	2.0	12	2
	氟派瑞	0.02	0.8	18	2
	歐滅松	0.15	0.2	-[y]	2
	三氟敏	0.2	0.5	18	2
	第滅寧	0.07	0.5	9	0.05
慣行處理	二硫代胺基甲酸鹽類	未檢出	2.0	-[x]	5[x]
	亞滅培	0.01	2.0	7	0.2
	加保利	0.13	0.5	15	0.01
	第滅寧	0.06	0.5	9	0.05

備註：

[x] 二硫代胺基甲酸鹽類之容許量以 CS2 計，其適用於二硫代胺基甲酸鹽類農藥之殘留總量，包含鋅錳乃浦、免得爛、甲基鋅乃浦、鋅錳克絕等。

[y] 未訂定安全採收期。

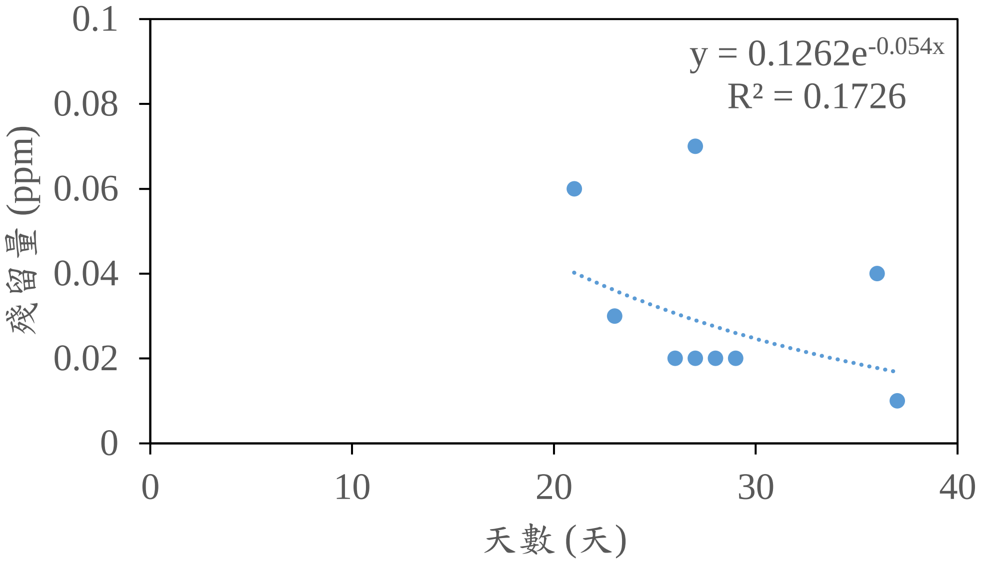

圖 1、第滅寧在荔枝上的殘留量與施藥後天數之關係

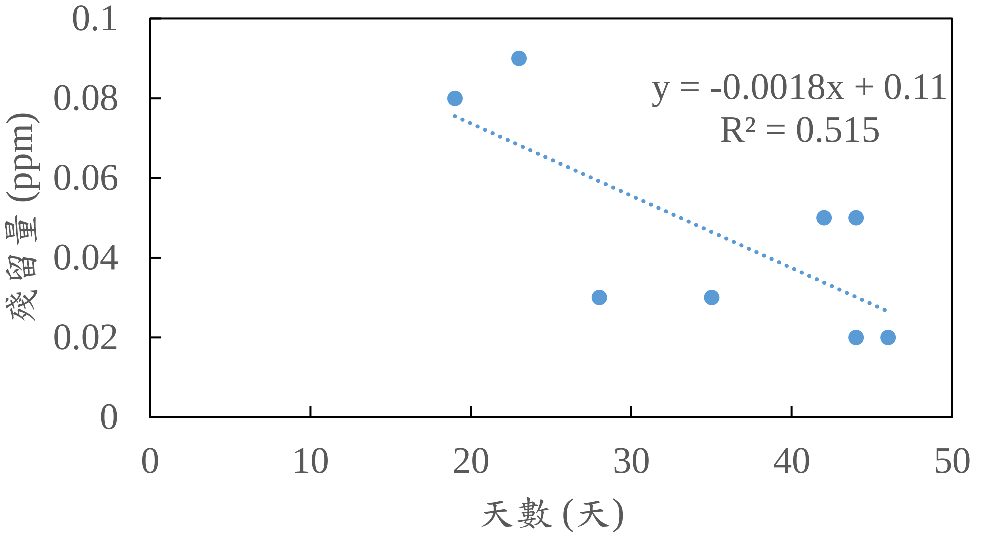

圖 2、亞托敏在荔枝上的殘留量與施藥後天數之關係

採收後荔枝低溫儲藏下的病害研究

在 111 年出口澳大利亞之'玉荷包'荔枝果實，採空運方式輸出。果實先於防檢署認可之低溫處理場域，以 0.99 ℃ 之低溫條件處理 17 天，並剔除褐化或腐敗之果實，隨後再通過檢疫流程，以航空方式運抵澳大利亞。低溫處理後調查，約有 8.2% 果實發生褐化腐敗，其 40%爲蟲害造成傷口所引發，另有 60%由其他因素造成。

爲釐清微生物在其中所扮演之角色，針對褐化果實之果皮進行組織分離，其結果如圖 3 所示，分離率最高者爲 *Colletotrichum* spp.，在 89%的荔枝果實中可分離得到，其次爲 *Diaporthe* spp.，分離率爲 53%，第三爲 *Alternaria* spp.，於 37%的果實中檢出，此外，同一果實常可同時分離到 2 至 3 種以上之眞菌。過去研究指出，*Colletotrichum*

siamense 已知可在臺灣荔枝上引起針點病（Ni et al., 2017；Wu et al., 2020），然而，本研究中所分離之 *Colletotrichum* spp. 是否與造成黑點病之種（species）相同，以及其藥劑敏感性是否一致，仍需進一步研究釐清。

針對分離所得之微生物進行不同溫度下的培養測試，結果顯示僅有 *Alternaria* spp. 能在 1 ℃的低溫環境中正常生長，因此，本研究選取兩株自採後處理之腐敗‘玉荷包’荔枝果實上分離的 *Alternaria* 菌株（LyAlt-7 與 LyAlt-10），以 1×10^4 spores mL^{-1} 之孢子懸浮液噴灑於荔枝果實表面，並在 1 ℃條件下處理 6 週。處理後的果實相較於噴水之負對照均呈現明顯褐化（圖 4）。進一步針對褐化程度進行分級評估並進行統計分析（圖 5），結果確認 *Alternaria* spp. 處理組果實的褐化程度達顯著性差異，顯示其確實影響採收後果實的褐化程度。Alam et al. (2017) 指出，5 °C儲藏 18 天的條件下，接種 *A. alternata* 的果實其腐敗率可達 100%，本研究則證實，即使在更低的 1 °C下，*Alternaria* spp. 仍能造成荔枝果實褐化，但發病所需時間更長，推測可能與低溫延緩病原菌生長速度與侵染進程有關。此外，Kumar (2018) 亦報告 *A. alternata* 可感染葉片，導致葉緣焦枯等病徵。

爲評估非化學農藥之低毒性資材防治荔枝採後低溫儲藏病害的潛力，本研究使用不同濃度之幾丁聚醣、商品化放線菌發酵液、二氧化氯及有機酸等 4 種資材，加上不同濃度共 6 種處理噴灑果實，每種處理 20 顆果實，將 50 mL 資材均勻噴灑於果實表面，置於網籃中風乾 10 分鐘後，再放入密封保鮮盒中，先於 1 °C 低溫條件下貯藏 17 天，再移置於 20 °C 放置 12 天，以模擬輸澳之檢疫及市場販售流程。各處理果實於試驗結束後的外觀如圖 6 所示，褐化程度量化並進行統計分析後之結果如圖 7，結果顯示，100 ppm 二氧化氯處理在降低荔枝採後褐化與腐敗方面效果最佳，2% 檸檬酸與 0.2% 商品化放線菌發酵液製劑之處理相較於無菌水對照亦有顯著差異，顯示兩者具降低採後病害之能力。另一方面，2% 檸檬酸 +1% 幾丁聚醣、2% 檸檬酸 +0.5% 幾丁聚醣以及 50 ppm 二氧化氯等處理則與無菌水對照組無顯著差異。

依據前人研究，檸檬酸與幾丁聚醣皆具有延緩荔枝果實褐化之效果（Jiang et al. 2018; Joas et al. 2005; Sun et al. 2010），惟其最適使用濃度與施用時機會因荔枝品種差異而有所不同。本研究中，由於幾丁聚醣需溶於酸性溶液中方能使用，故以檸檬酸作爲其溶劑進行處理。然而，與單獨施用檸檬酸相比，檸檬酸與幾丁聚醣混合處理之果實反而呈現較高之褐化腐敗程度。而在先前其他實驗中，發現部份商品化的幾丁聚醣製劑有良好之抑制採收後腐敗之效果（資料未顯示）。由上述結果可推論，若欲將幾丁聚醣應用於荔枝採後病害防治，劑型可能爲關鍵因素，需透過適當之製劑形式，方能發揮最佳防治效果。

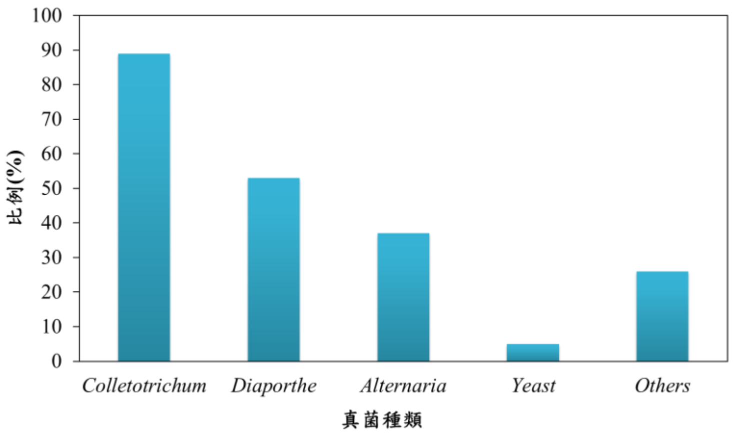

圖 3、經 0.99 ℃處理 17 天後，由褐化或腐敗之’玉荷包’荔枝果實上分離得到的眞菌種類及比例。

圖 4、以 *Alternaria* spp.菌株 LyAlt-7 及 LyAlt-10 接種'玉荷包'果實，經 1 ℃處理 6 週後，接種水之負對照（左）、LyAlt-7 接種（中）及 LyAlt-10 接種（右）之果實外觀。

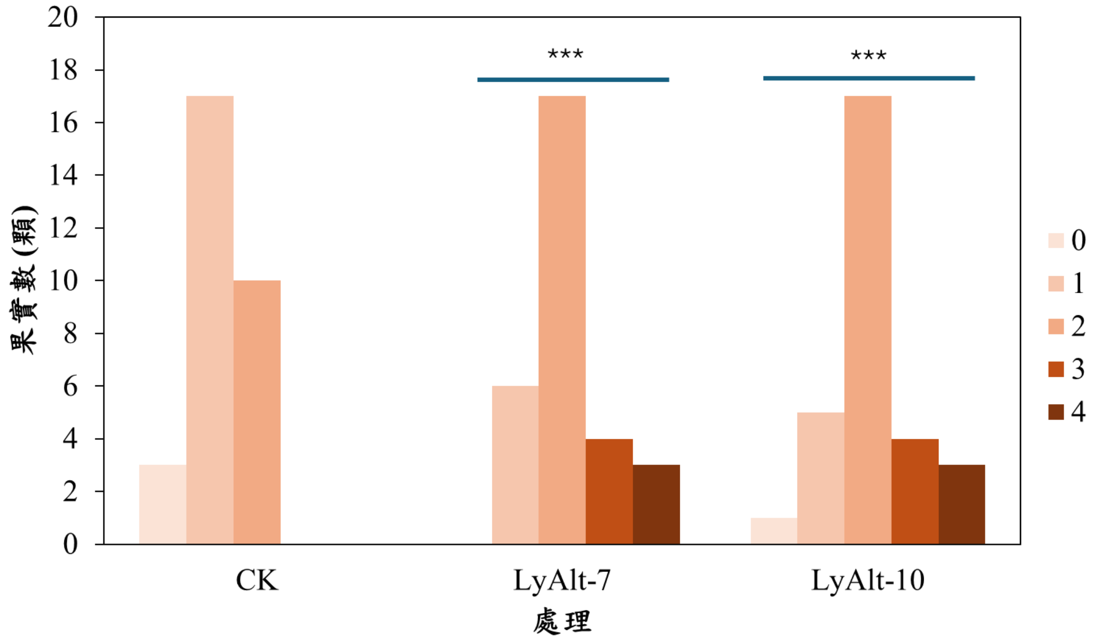

圖 5、以 *Alternaria* spp.菌株 LyAlt-7 及 LyAlt-10 接種 30 顆'玉荷包'果實，經 1 ℃處理 6 週後，接種水之負對照(CK)與接種 *Alternaria* spp.菌株 LyAlt-7 及 LyAlt-10 之果實罹病度調查，*：經無母數 Kruskal-Wallis test 統計分析與負對照相比有顯著差異(P value < 0.01)。罹病度 0：無褐化，1：輕微褐化（果棘輕微發黑，褐化面積<5%)，2：褐化面積 5-25%，3：褐化面積 25-50%，4：褐化面積 ＞50%已無商品價值。**

圖 6、不同採後處理後荔枝果實之外觀。A-2%檸檬酸+1%幾丁聚醣，B-2%檸檬酸+0.5%幾丁聚醣，C-2%檸檬酸，D-0.2% 商品化放線菌發酵液，E-100 ppm 二氧化氯，F-50 ppm 二氧化氯。對照組 CK 噴施無菌水。

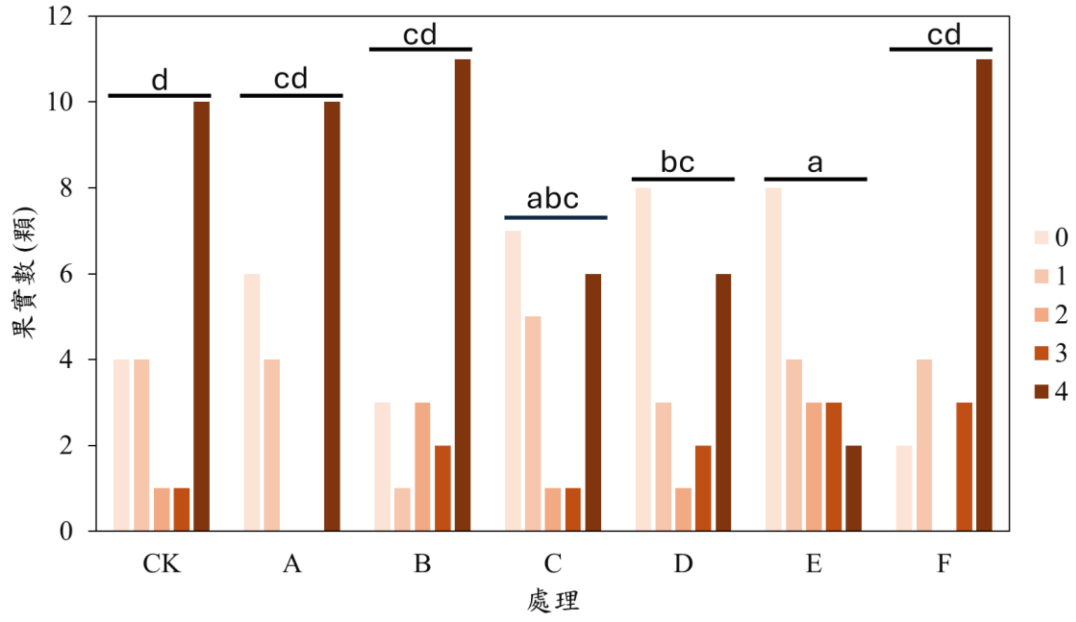

圖 7、不同採後處理後，荔枝果實褐化的程度。分級標準－0：無褐化，1：<5%果實表面積褐化，2：5~25%果實表面積褐化，3：25~50%果實表面積褐化，4：>50%果實表面積褐化而失去商品價值。統計方法爲使用 Kruskall-Wallis 及 Dunn's test 做差異性檢定及事後比較，並用 Benjamini-Hochberg 法調整校正事後比較結果。不同處理之間英文字母不同者表示有顯著性差異(α<0.05)。A-2%檸檬酸+1%幾丁聚醣，B-2%檸檬酸+0.5%幾丁聚醣，C-2%檸檬酸，D-0.2% 商品化放線菌發酵液，E-100 ppm 二氧化氯，F-50 ppm 二氧化氯。對照組 CK 噴施無菌水。

以新穎技術防治荔枝病蟲害之潛力

荔枝椿象爲入侵害蟲，且其生活史一年僅一個世代，因此施藥時機對於降低田間族群密度具有關鍵影響。近年來，爲防治荔枝椿象，防檢署及各縣市政府主要推動化學藥劑共同防治措施。然而，現行施藥作業仍高度依賴人力，在農業勞動力短缺的情況下，可能導致防治成效不一致或覆蓋不完全。Chen et al. (2021) 結合邊緣智能 (edge intelligence) 與無人機施藥技術，以偵察型無人機對果園進行影像拍攝，並將影像回傳至嵌入式運算模組，利用已訓練完成之 Tiny-YOLOv3 深度學習模型即時辨識荔枝椿象，以掌握其在果園中的空間分布情形。進一步結合座標資訊重建害蟲分布地圖，並以蟻群演算法 (Ant Algorithm) 計算最佳施藥路徑，最終由噴藥無人機依規劃路徑執行施藥作業。該研究結果顯示，此一整合式施藥模式可減少約 70%農藥用量、縮短約 19%施藥路徑，並節省超過 50%的人力投入及約 53%的作業時間。在將來面臨人力短缺的問題時，無人機噴藥技術可能成爲替代人力的可行方案。

結語

輸澳外銷荔枝過程，爲實務操作與試驗理論相互結合之體現。其成敗不僅取決於荔枝栽培管理與病蟲害防治策略之管控，更涉及人力調度、運輸流程銜接及冷鏈設施等多

重環節之整合與協調，環環相扣，缺一不可。因此，其成功並非一蹴可幾，而需透過長時間的調整、試誤與多方協作，方能逐步建立穩定且可運作之模式。本次輸澳荔枝外銷之輔導與執行經驗，不僅限於單一輸出市場之管理策略，更提供多面向之實務借鏡價值。相關經驗可進一步應用於未來其他國家市場或不同水果品項之外銷規劃，作爲優化輸出流程與強化供應鏈管理之基礎，並在既有知識與經驗之上持續深化與拓展，以促進國際貿易管道之穩健發展。

參考文獻

Alam, M. W., A. Rehman, M. L. Gleason, A. S. Khan, M. Amin, S. Ali, M. Fiaz, and R. Ahmed. 2017. First report of *Alternaria alternata* causing postharvest fruit rot of lychee in Pakistan. Plant Dis. 101: 1041.

Ann, P. J., J. N. Tsai, I. T. Wang, and H. R. Young. 2004. Litchi fruit anthracnose and the cause of black skin. Plant Pathol. Bull. 13: 299-308.

Ann, P. J., and Ko, W. H. 1984. Blossom blight of litchi in Taiwan caused by *Peronophythora litchii*. Plant Dis. 68: 826.

Chen, C. J., Y. Y. Huang, Y. S. Li, Y. C. Chen, C. Y. Chang, and Y. M. Huang. 2021. Identification of fruit tree pests with deep learning on embedded drone to achieve accurate pesticide spraying. IEEE Access 9: 3056082.

Jiang, X., Lin, H., Shi, J., Neethirajan, S., Lin, Y., Chen, Y., Wang, H., and Lin, Y. 2018. Effects of a novel chitosan formulation treatment on quality attributes and storage behavior of harvested litchi fruit. Food Chemistry. 252: 134-141.

Joas, J., Caro, Y., Ducamp, M. N., and Reynes M. 2005, Postharvest control of pericarp browning of litchi fruit (*Litchi chinensis* Sonn cv Kwaï Mi) by treatment with chitosan and organic acids: I. Effect of pH and pericarp dehydration, Postharvest Biology and Technology. 38: 128-136.

Kumar V. 2018. *Alternaria* diseased of litchi. NRCL TB-13, ICAR National Research Centre on Litchii, Muzaffarpur 842 002, India, 28pp.

Kumar V., S. K. Purbey, and A. K. D. Anal. 2016. Losses in litchi at various stages of supply chain and changes in fruit quality parameters. Crop Protection 79: 97-104.

Ni, H. F., C. W. Huang, C. J. Wu, H. R. Yang, C. Y. Lin, J. Y. Chang, and J. W. Chang. 2017. First report of pepper spot disease of lychee caused by *Colletotrichum siamense* in Taiwan. J. Plant Pathol. 99:808.

Regmi, N. R. 2022. A Review on Management Options for Litchi Fruit and Shoot Borer, *Conopomorpha Sinensis*. Big Data Agric. 4:58–61. doi: 10.26480/bda.02.2022.58.61

Sun, D., Liang, G., Xie, J., Lei, X., and Mo, Y. 2010. Improved preservation effects of litchi fruit by combining chitosan coating with ascorbic acid treatment during postharvest storage. African Journal of Biotechnology. 9: 3272-3279.

Waite, G. and J. Hwang. 2002. Pests of litchi and longan. p.331–359. in: Tropical fruit pests and pollinators: biology, economic importance, natural enemies and control. (Peña, J., J. Sharp and M. Wysoki, eds.) CABI Digital Library.

Wu, C. J., C. W. Huang, J. W. Chang, and H. F. Ni. 2020. Physiological characteristics, pathogenicity and fungicide sensitivity of *Colletorichum siamense* causing lychee pepper spot disease. J. Taiwan Agric. Res. 69: 11-24.

A Study on Pest Management and Pesticide Risk Control for Exported Lychees: A Case of Lychee Export to Australia

Chao-Jung Wu[1,*], Yu-Sheng Hsu[1]

[1] Assistant Researcher, Department of Plant Protection, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute

* Correspondence: tcpq7410@tari.gov.tw

Abstract

From 2022 to 2024, the project team assisted in exporting Kaohsiung Yuherbau lychees to Australia. This article aims to share practical experiences and strategies related to pesticide use and management during the export process, focusing on pest and disease control and chemical risk management for exporting Taiwanese lychees to Australia. One of the key challenges in the export process is overcoming the differences in pesticide residue standards between Taiwan and Australia. To comply with Australia's stringent import regulations, the team developed and validated a pesticide-use strategy specifically tailored for lychee export. The results showed that this strategy achieved pest control efficacy comparable to conventional practices. In addition, the study examined disease development and management during low-temperature storage and found that Alternaria spp. could still accelerate fruit decay under the low-temperature conditions required for quarantine treatment. Further trials demonstrated that non-pesticide materials, such as chlorine dioxide and citric acid, effectively enhanced lychee storage quality. Finally, this article also highlights the potential of using unmanned aerial vehicles (UAVs) and deep learning technologies for precision control of the lychee stink bug, which may help reduce pesticide usage and labor requirements. The export support experience presented here serves as valuable practical guidance for Taiwan's future fruit export efforts and for developing effective pest and disease management strategies in international markets.

Keywords: Litchi, LED, Pesticide reduction, IPM

點花成金：龍眼花之保健功效及產業加值潛力

洪子桓[1,*]、朱彧瑩[2]
[1]農業部農業試驗所遺傳資源及生物技術組 助理研究員
2 農業部農業試驗所嘉義農業試驗分所園藝系 助理研究員
*聯繫人 e-mail: thhong@tari.gov.tw

龍眼（*Dimocarpus longan* Lour.）花為常規果園栽培管理與自然脫落所產生之大宗農業副產物，過往多作廢棄處理或僅限於初級加工，造成生物資源之浪費。隨著循環經濟理念之推展，龍眼花之機能性開發已成為產學界之研究熱點。本文綜整近年相關之科學實證，深入探討龍眼花之化學成分及其多面向之保健功效。化學分析指出，龍眼花富含原花青素、表兒茶素等多酚與高活性類黃酮，為其卓越之抗氧化與抗發炎能力奠定生化基礎。在活體與體外模型中，龍眼花萃取物不僅能有效調節脂質與醣類代謝，顯著改善高熱量飲食誘發之肥胖、非酒精性脂肪肝及代謝症候群，亦在神經保護上發揮對抗氧化損傷之功效。此外，最新研究更揭示其能透過調節「血清素-褪黑激素軸」(Serotonin–melatonin axis) 顯著提升睡眠品質。隨著超音波輔助萃取等綠色製程之導入，龍眼花正逐步由傳統農產副產物轉型為具備標準化規格之高附加價值保健生技原料。本文期能為龍眼花之產業加值潛力提供完整之學理支持，進一步促進臺灣農業剩餘物全利用與綠色供應鏈之多元發展。

關鍵字：龍眼花、農業副產物、抗氧化、調節代謝、神經保護、循環經濟

引言

近年來，隨著循環經濟及農業剩餘物全利用理念之發展，提升農業副產物之附加價值逐漸成爲產學界之研究重點（Schroeder et al., 2019; Hsieh et al., 2025）。龍眼（*Dimocarpus longan* Lour.）屬於無患子科（Sapindaceae）常綠喬木，廣泛分布於亞熱帶地區，爲臺灣極具代表性之重要經濟果樹（Cheng et al., 2021; Paul et al., 2021）。龍眼屬雜性花，同一樹上會混生雄花、偏雌花及兩性花，主要以偏雌花受精著果，其花序龐大且花數衆多，開花期間會自然脫落大量雄花（Hsieh et al., 2008）。此外，於常規果園栽培管理實務中，由於龍眼著果能力極佳，然而著果過多容易造成果實過小無商業價值及隔年結果問題，爲確保果實發育之品質與產量，農民亦常須進行疏花或疏果作業以調節結果量(周和張，2019)。此類因自然脫落與人工疏花所產生之龐大生物量，過往多被視爲農業副產物。除少部分經乾燥加工製成民間傳統飲品外，多數均棄置於果園任其自然腐敗，造成生物資源之浪費（Hsieh et al., 2008）。

龍眼花不僅具備特殊之揮發性香氣成分（Chang et al., 2008），於傳統民俗應用上，亦常被作爲退火、生津解渴之日常保健茶飲（周和張，2019；Ho et al., 2007）。爲探明其傳統應用之科學基礎，近代研究陸續投入龍眼花機能性成分之探討與生物活性分析，發現其富含多酚類化合物如原花青素（Proanthocyanidins）與表兒茶素（Epicatechin）等(Ho et al., 2007; Hsieh et al., 2008)。此外，爲突破傳統熱水萃取之限制，近期研究亦積極導入超音波輔助萃取等新興綠色製程，以期極大化其生物活性成分之提取率（Jan & Gavahian, 2025）。

本文旨在綜整龍眼花之機能性成分，並探討其在抗氧化、抗發炎、調節代謝及神經保護等層面之保健功效，期能爲龍眼花之產業加值潛力提供科學實證，進一步將農業副產物轉化爲具高經濟價值之保健素材，促進龍眼產業之多元發展。

龍眼花的成分、抗氧化力及抗發炎活性

龍眼花含有豐富的多酚、類黃酮等機能性植化素（Yang et al., 2010; Paul et al., 2021）。化學分析結果顯示，龍眼花萃取物中富含小分子酚酸（Phenolic acids）如龍膽酸(Gentisic acid)、沒食子酸（Gallic acid）、原兒茶酸（Protocatechuic acid)等；及柯里拉京(Corilagin)、鞣花酸（Ellagic acid）、訶黎勒酸（Chebulagic acid）等水溶性單寧；以及原花青素 A2 (Proanthocyanidin A2)、原花青素 B2 (Proanthocyanidin B2)、表兒茶素、芸香苷（Rutin)、槲皮素（Quercetin）與山奈酚（Kaempferol）等高活性類黃酮（Liu et al., 2012; Sheu et al., 2016; Jan & Gavahian, 2025; Hung et al., 2026）。這些天然的次級代謝物協同作用，共同構成了有潛力的抗氧化與抗發炎生化基礎。

在體外試驗模式中，龍眼花萃取物展現出優越的抗氧化力。以 DPPH (α, α-diphenyl-β-picrylhydrazyl)自由基清除能力爲例，龍眼花水萃取物（Longan flower water extract, LFWE）的半數抑制濃度（Half maximal inhibitory concentration, IC_{50}）約爲 3.75 μg/mL，其清除效力優於 α-生育酚（α-Tocopherol；IC_{50} = 9.22 μg/mL) (Tsai et al., 2008)。ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)）自由基清除試驗測得 LFWE 的 Trolox 當量抗氧化能力（Trolox equivalent antioxidant capacity, TEAC）值達 703.9 mg TEAC/g (Hung et al., 2026)，幾乎跟同劑量的抗氧化劑水溶性維生素 E (Trolox）相等。利用脂質氧化模型分析，龍眼花甲醇萃取物能抑制 Cu^{2+}誘導的人體低密度脂蛋白（Low-density lipoprotein, LDL）氧化，其效果是相同濃度 Trolox 的 0.61 倍（Hsieh et al., 2008)。

在大鼠腦部脂質的體外氧化試驗中，LFWE 濃度依賴性地抑制腦勻漿（Brain Homogenate）的脂質過氧化，且其抗氧化效力優於穀胱甘肽（Glutathione, GSH）與 Trolox (Lin et al., 2012)，這在天然萃取物中相當罕見。

在細胞模型中，龍眼花乙醇萃取物能有效抑制巨噬細胞（Macrophage, RAW264.7）與微膠細胞（Microglia, BV-2）內受脂多醣（Lipopolysaccharide）刺激的活性氧產生，並顯著提升抗氧化酵素如穀胱甘肽過氧化物酶（Glutathione peroxidase, GPx）、超氧化物歧化酶（Superoxide dismutase, SOD）之活性及細胞內 GSH 濃度（Ma et al., 2025）。在生物模型中，龍眼花超音波輔助水萃取物能將秀麗隱桿線蟲（Caenorhabditis elegans）在正常條件下的中位壽命延長 50%，並在高氧化壓力下顯著提升其存活率與抗逆境能力 (Jan & Gavahian, 2025)。針對高熱量飲食誘導肥胖的大鼠，飲用龍眼花水萃取物能顯著降低肝臟的丙二醛（Malondialdehyde）濃度，並提升肝臟的 GSH 濃度（Liu et al., 2012）。另外在大鼠肝臟缺血再灌注損傷模型中，給予龍眼花乙酸乙酯萃取物預處理的大鼠，其肝臟組織也展現出顯著較高的抗氧化能力（Hsieh et al., 2015）。

奠基於優異的抗氧化力，龍眼花萃取物在抗發炎與細胞保護上亦展現巨大潛力。龍眼花乙醇萃取物能有效減輕 RAW264.7 及 BV-2 細胞的發炎反應（Ma et al., 2025）。在具體的抗發炎分子機制上，其能透過抑制 RAW 264.7 中一氧化氮及前列腺素 E2 (Prostaglandin E2）的生成，展現出顯著的抑制發炎活性（Ho et al., 2007）。此外，在活體神經模型中，LFWE 能有效對抗 1-methyl-4-phenyl-1,2,3,6-tetrahydropyridine (MPP+) 誘導之大鼠腦神經毒性，發揮抗凋亡與抗發炎的雙重保護作用（Lin et al., 2012）。這些科學實證不僅爲龍眼花作爲抗衰老、神經保護之保健素材開發提供了有力支持，更爲後續探討其在調節代謝與改善肥胖（Yang et al., 2010）的應用上，奠定了重要的學理基礎。

龍眼花調節代謝之研究

現代社會因飲食習慣改變與靜態生活模式，肥胖及代謝症候群(Metabolic syndrome) 已成爲嚴峻的全球性公共衛生議題。奠基於其優異的抗氧化活性，近年多項活體動物試驗進一步證實，龍眼花萃取物在調節脂質代謝、改善脂肪肝及緩解代謝症候群指標方面具備顯著的生物活性（Tsai et al., 2008；Yang et al., 2010）。

在脂質代謝與肥胖抑制部分，研究指出 LFWE 在體外試驗中能有效抑制胰脂肪酶 (Lipase）的活性，進而具備降低膳食脂肪消化與吸收之潛力（Yang et al., 2010）。針對高熱量飲食誘導肥胖的大鼠模型，實驗結果顯示補充 LFWE 能顯著減緩其體重、附睪及腎周脂肪之增加幅度（Yang et al., 2010）。此外，LFWE 亦能有效降低血清中的三酸甘油酯 (Triglyceride, TG）濃度，並提升高密度脂蛋白膽固醇（High-density lipoprotein cholesterol, HDL-C）水平，進而改善動脈硬化指數（Yang et al., 2010）。在基因調控方面，LFWE 能顯著下調與脂肪生成相關的基因固醇調節元件結合蛋白-1c (Sterol regulatory element-binding protein-1c, SREBP-1c）及脂肪酸合成酶（Fatty acid synthase, FAS）的表現，同時上調低密度脂蛋白受體（Low-density lipoprotein receptor, LDLR）與過氧化體增殖劑活化受體-α (Peroxisome proliferator-activated receptor alpha, PPAR-α）的基因表現，促進膽固醇清除與脂肪酸的 β-氧化（Yang et al., 2010）。研究亦觀察到，攝取 LFWE 會顯著增加大鼠糞便中的 TG 排出量，從而減少外源性脂質的吸收（Yang et al., 2010）。

針對肥胖常引發的非酒精性脂肪肝（Nonalcoholic fatty liver disease, NAFLD）問題，研究證實 LFWE 可透過降低肝臟脂質過氧化反應，並下調基質金屬蛋白酶（Matrix metalloproteinases, MMP)-2 與 MMP-9 的表現，進而減輕脂肪肝病變之程度（Liu et al., 2012）。除了下調 MMP-2/9，LFWE 還能顯著降低肝臟中的三酸甘油酯與膽固醇堆積，

並大幅降低肝損傷指標天門冬胺酸轉胺酶（Glutamic oxaloacetic transaminase, GOT）與丙胺酸轉胺酶（Glutamic pyruvic transaminase, GPT）的數值（Liu et al., 2012）。而在醣類代謝與胰島素敏感性方面，針對果糖餵食誘導代謝症候群的大鼠模型，補充 LFWE 能有效提升體內的抗氧化防禦系統，進而顯著改善胰島素阻抗與高血壓現象（Tsai et al., 2008）。除了整體改善胰島素阻抗外，文獻具體指出 LFWE 能夠在脂肪細胞中，顯著提升胰島素傳遞路徑相關蛋白的表現量，包含了胰島素受體受質-1（Insulin receptor substrate 1, IRS-1）以及葡萄糖轉運蛋白 4 (Glucose transporter 4, GLUT 4)。這爲其穩定血糖的潛力提供了明確的機制證據（Tsai et al., 2008）。

龍眼花之保健功能亦延伸至代謝症候群引發的器官損傷保護。研究發現，LFWE 在果糖誘導之代謝症候群大鼠模型中，抑制了外因性（Extrinsic pathway）與內因性(Intrinsic pathway）的細胞凋亡（Apoptosis）路徑，提升抗凋亡蛋白 Bcl-2 與 Bcl-xL 的表現量，並活化心臟組織中的 IGF-1R/PI3K/Akt 存活傳遞路徑，對其心臟組織展現出抗凋亡與促存活之保護作用（Cheng et al., 2021）。綜合上述研究成果，龍眼花不僅能協助改善高熱量飲食所引發的脂肪堆積與代謝失衡，更在預防代謝疾病相關併發症上展現出多面向的產業加值潛力。

龍眼花在神經保護及幫助睡眠之研究

除具備顯著之抗氧化與調節代謝功能外，龍眼花萃取物在中樞神經系統的保健潛力近年來亦受到學界高度重視。隨著高齡化社會來臨，神經退化性疾病與睡眠障礙的盛行率逐年攀升，而龍眼花中所富含的多酚與植化素，正爲這些挑戰提供了天然的介入策略。

在神經保護方面，大量自由基引起的氧化壓力及神經發炎，是導致腦部神經元損傷甚至誘發帕金森氏症等退化性疾病的關鍵因素。在活體大鼠模型中，口服補充 LFWE 能有效對抗 MPP^+誘導的神經氧化損傷，LFWE 劑量依賴性地減弱了 MPP^+誘導的多巴胺含量降低，進而保護大鼠腦內黑質紋狀體系統(Nigrostriatal system) (Lin et al., 2012)。與載體處理組大鼠相比，LFWE 處理組顯著降低大鼠中 MPP^+誘導的血紅素加氧酶-1(Heme oxygenase-1, HO-1)的表現量。此外，LFWE 能夠減弱 MPP^+誘導的 α-突觸核蛋白(α-Synuclein)聚集，這是帕金森氏症的一種病理特徵，顯示 LFWE 透過減少 α-突觸核蛋白聚集發揮神經保護作用（Lin et al., 2012）。

在改善睡眠品質方面，龍眼花的傳統安神功效已獲得現代藥理學的實證支持。最新研究指出，LFWE 能顯著延長小鼠的睡眠持續時間，其分子機制與調節「血清素-褪黑激素軸」(Serotonin–melatonin axis)密切相關。實驗證實，龍眼花能有效提升大腦組織中血清素的濃度，並促進褪黑激素之生合成（Hung et al., 2026）。此外，龍眼花乙醇萃取物亦被證實能提升芳香胺類 N-乙醯轉移酶（Arylalkylamine N-acetyltransferase, AANAT）等促睡眠相關酵素的表現（Ma et al., 2025）。這些科學實證凸顯了龍眼花在開發爲助眠、舒壓及大腦保健機能性產品上的龐大產業價值。

產業現況

目前台灣龍眼產業仍以果實鮮食、烘焙龍眼乾以及採收龍眼蜜爲主要經濟命脈，針對龍眼花的利用，過去多侷限於初級的農產加工。常見的作法是將疏下或掉落的花穗經人工日曬或低溫烘培，製成傳統花茶包於農會或在地市集販售。這類初級加工產品雖然保留了天然蜜香與傳統風味，但因缺乏科學化的活性成分定性定量，產品附加價值相對受限；加上花期集中且短暫、採收與分級的人力成本高昂，導致龍眼花過去難以形成具

經濟規模的產業鏈。然而，這些限制同時也突顯了龍眼花在未來發展上的潛力。由於龍眼開花期需配合蜂農採蜜作業，栽培管理上避免農藥施用，以確保蜜蜂及蜂蜜不受農藥殘留影響。此舉不僅保障食品安全，也使龍眼花成為安全可靠的食用或加工原料，具備進一步開發與產業化的可能性。然而，隨著產學界對其保健功效研究的日益完備，龍眼花的產業地位正迎來轉機。近年已有國內保健食品與生技業者看準此一商機，開始導入規模化的低溫萃取及超音波輔助萃取等製程，成功將龍眼花轉化為具備標準化規格的機能性原料。在商業應用上，市場上已陸續開發出以龍眼花萃取物之紓壓、幫助睡眠功能為核心訴求的保健膠囊，甚至跨足至寵物保健品市場。透過與果農建立契作模式，不僅去化果園的農業副產物、增加農民的非產季收益，更帶動了從一級農業跨足至二級加工與三級生技研發的「六級化產業」雛形，逐步建構出高附加價值的綠色供應鏈。

結語

綜上所述，龍眼花是一種極具開發潛力的農業機能副產物，其富含多酚、類黃酮及原花青素等植化素，已在多項體外、細胞與生物模型中被證實具備卓越的抗氧化、抗發炎、調節代謝、神經保護及改善睡眠等多重保健功效。值得強調的是，針對龍眼花機能性之探討，從基礎化學成分的定性定量到生理活性機制的解析，絕大多數的核心學術成果皆源自於台灣學術界。這不僅顯示台灣在龍眼花機能功效研究領域已具備深厚的學理基礎，更使台灣在推動此項農業剩餘物利用的國際發展上，佔有絕對的領先優勢。

龍眼花之機能性開發，能將過往棄置於果園的落花，轉化為具備高附加價值的潛力保健素材，標誌著傳統果樹產業由初級生產邁向精準生技的重要轉型。未來應進一步進行人體臨床試驗探討，以確立其在人體的有效劑量與長期攝取安全性。此外，學界與產業界亟需共同建立標準化的原料採收與萃取指引，確保批次間指標成分之濃度恆定。未來，透過嚴謹的科學確效與製程控管，龍眼花萃取物有望成為極具開發潛力的新興機能性食品原料，為台灣果樹副產物的加值應用開創實質的經濟效益。

參考文獻

周書立、張嵐雁。2019。龍眼栽培與利用。臺南區農業專訊 108:1-8。

Chang, C.H.; Yu, T.H.; Chang, C.Y.; Liu, Y.C. Impacts of extraction methods on volatile constituents of longan flower. *J. Food Drug Anal.* 2008, 16, 46-52.

Cheng, S.M.; Kumar, V.B.; Wu, L.Y.; Chang, H.C.; Kuo, C.H.; Wei, L.S.; Lin, Y.M.; Padma, V.V.; Lee, S.D.; Huang, C.Y. Anti-apoptotic and pro-survival effects of longan flower extracts on rat hearts with fructose-induced metabolic syndrome. *Environ. Toxicol.* 2021, 36, 1085-1093.

Ho, S.C.; Hwang, L.S.; Shen, Y.J.; Lin, C.C. Suppressive effect of a proanthocyanidin-rich extract from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) flowers on nitric oxide production in LPS-stimulated macrophage cells. *J. Agric. Food Chem.* 2007, 55, 10664-10670.

Hsieh, C.C.; Hsu, S.M.; Hwang, L.S.; Chiu, J.H.; Lu, W.C.; Wu, Y.L.; Hsieh, S.C. Protective effects of the extract from longan flower against hepatic ischemia/reperfusion injury in rats. *J. Funct. Foods* 2015, 15, 570-579.

Hsieh, M.C.; Shen, Y.J.; Kuo, Y.H.; Hwang, L.S. Antioxidative activity and active components of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) flower extracts. *J. Agric. Food Chem.* 2008, 56, 7010-7016.

Hsieh, M.Y.; Feng, W.B.; Hsu, P.C.; Dong, Y.J.; Lee, Y.L.; Shih, H.T. Multiple applications of yellow mealworm (Tenebrio molitor L.) reared on plant-based substrates: Circular agriculture, farmed animal feed, and other high-value products. *J. Taiwan Agric. Res.* 2025, 74, 415-447.

Hung, T.H.; Cheng, C.P.; Chiou, W.C.; Hsia, T.L.; Liu, H.K.; Lu, H.F.; Lai, Y.H.; Tsai, S.T.; Chen, C.J.; Huang, C. Longan flower water extract promotes sleep in mice via the serotonin–melatonin axis. *J. Sci. Food Agric.* 2026, 106, 1852-1860.

Jan, K.C.; Gavahian, M. Ultrasound-assisted extraction combined with enzyme hydrolysis enhanced the anti-aging effects and bioactivity of longan flower, mulberry, and roselle: Phytochemical profiling and in vivo C. elegans validation. *Food Biosci.* 2025, 64, 105510.

Lin, A.M.Y.; Wu, L.Y.; Hung, K.C.; Huang, H.J.; Lei, Y.P.; Lu, W.C.; Hwang, L.S. Neuroprotective effects of longan (*Dimocarpus longan* Lour.) flower water extract on MPP+-induced neurotoxicity in rat brain. *J. Agric. Food Chem.* 2012, 60, 9188-9194.

Liu, C.W.; Yang, D.J.; Chang, Y.Y.; Hsu, C.L.; Tseng, J.K.; Chang, M.H.; Wang, M.; Chen, Y.C. Polyphenol-rich longan (*Dimocarpus longan* Lour.)-flower-water-extract attenuates nonalcoholic fatty liver via decreasing lipid peroxidation and downregulating matrix metalloproteinases-2 and -9. *Food Res. Int.* 2012, 45, 444-449.

Ma, C.C.; Hsieh, M.C.; Chiang, W.L.; Chen, Y.W.; Huang, P.C.; Yu, C.H.; Lee, S.Y.; Chung, T.C.; Lu, H.C.; Chang, Y.W. Longan flower ethanol extract, *Dimocarpus longan* Lour, mitigates oxidative damage and inflammatory responses while promoting sleep-related enzymes in cell models. *Biomedicines* 2025, 13, 1588.

Paul, P.; Biswas, P.; Dey, D.; Saikat, A.S.M.; Islam, M.A.; Sohel, M.; Hossain, R.; Mamun, A.A.; Rahman, M.A.; Hasan, M.N.; Kim, B. Exhaustive plant profile of "*Dimocarpus longan* Lour" with significant phytomedicinal properties: A literature based-review. *Processes* 2021, 9, 1803.

Schroeder, P.; Anggraeni, K.; Weber, U. The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals. *J. Ind. Ecol.* 2019, 23, 77-95.

Sheu, S.Y.; Fu, Y.T.; Huang, W.D.; Chen, Y.A.; Lei, Y.C.; Yao, C.H.; Hsu, F.L.; Kuo, T.F. Evaluation of xanthine oxidase inhibitory potential and in vivo hypouricemic activity of *Dimocarpus longan* Lour. extracts. *Pharmacogn. Mag.* 2016, 12, S206-S212.

Tsai, H.Y.; Wu, L.Y.; Hwang, L.S. Effect of a proanthocyanidin-rich extract from longan flower on markers of metabolic syndrome in fructose-fed rats. *J. Agric. Food Chem.* 2008, 56, 11018-11024.

Yang, D.J.; Chang, Y.Y.; Hsu, C.L.; Liu, C.W.; Lin, Y.L.; Lin, Y.H.; Liu, K.C.; Chen, Y.C. Antiobesity and hypolipidemic effects of polyphenol-rich longan (*Dimocarpus longans* Lour.) flower water extract in hypercaloric-dietary rats. *J. Agric. Food Chem.* 2010, 58, 2020-2027.

Turning Flowers into Gold: Health Benefits and Industrial Value-Adding Potential of Longan Flowers

Tzu-Huan, Hung[1,*] and Yu-Ying, Chu[2]

[1] Assistant Researcher, Crop Genetic Resources and Biotechnology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture; thhong@tari.gov.tw

[2] Assistant Researcher, Department of Horticulture, Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Ministry of Agriculture; yuyingchu@tari.gov.tw

[*] Correspondence: thhong@tari.gov.tw;

Abstract

Longan (*Dimocarpus longan* Lour.) flowers are a major agricultural byproduct generated from conventional orchard management and natural dropping. In the past, they were mostly discarded as waste or limited to primary processing, resulting in a loss of biological resources. With the promotion of the circular economy concept, the functional development of longan flowers has become a research hotspot in both academia and industry. This review summarizes recent scientific evidence to explore in depth the chemical composition and multifaceted health benefits of longan flowers. Chemical analysis indicates that longan flowers are rich in polyphenols such as proanthocyanidins and epicatechin, as well as highly active flavonoids, which lay the biochemical foundation for their remarkable antioxidant and anti-inflammatory capabilities. In both in vivo and in vitro models, longan flower extracts have been shown to not only effectively regulate lipid and carbohydrate metabolism—significantly ameliorating high-calorie diet-induced obesity, nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD), and metabolic syndrome—but also exert neuroprotective effects against oxidative damage. Furthermore, recent studies reveal that it can significantly improve sleep quality by regulating the serotonin-melatonin axis. With the introduction of green processes such as ultrasound-assisted extraction, longan flowers are gradually transitioning from traditional agricultural byproducts into high-value-added health and biotechnological raw materials with standardized specifications. This article aims to provide comprehensive theoretical support for the industrial value-adding potential of longan flowers, further promoting the full utilization of agricultural residues and the diversified development of the green supply chain in Taiwan.

Keywords: Longan flower; Agricultural byproduct; Antioxidant; Metabolic regulation; Neuroprotection; Circular economy

荔枝果皮採後褐化的生理機制與抑制策略：近年研究彙整

邱國棟[1,3]、徐敏記[2]、林沛儒[2]、梁佑慎[3*]

1 農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所果樹系
2 農業部農業試驗所作物組
3 國立屏東科技大學 農園生產系
*聯繫人 e-mail: justinliang@mail.npust.edu.tw

荔枝(*Litchi chinensis*)為臺灣重要經濟果樹之一，然其採收後果皮極易發生褐變，嚴重影響商品價值與外銷競爭力。本文綜整近年研究，探討荔枝果皮褐化之生理機制與抑制策略。褐變本質為酵素性氧化反應，主要由多酚氧化酶(polyphenol oxidase)與過氧化物酶(peroxidase)催化酚類物質生成醌類並聚合為褐色物質，其發生與細胞膜完整性密切相關。採後失水、冷害與老化會導致膜結構破壞，使酵素與底物接觸並啓動褐變反應。此外，花青素降解、活性氧(reactive oxygen species)累積與抗氧化能力下降亦會加速褐變進程，而能量代謝失衡則進一步惡化細胞生理狀態。影響褐變之主要因素包括水分散失、果實老化、低溫傷害、機械損傷與病原菌感染，且彼此具有交互作用。近年保鮮技術發展以維持細胞膜穩定為核心，包括可食性塗層、化學處理(如水楊酸、草酸等)、預冷技術與氣變包裝(modified atmosphere packaging)，皆能有效延緩褐變並維持品質。臺灣實務上則強調快速預冷、高濕環境及冷鏈整合，以確保採後品質穩定。未來應整合生理機制研究與產業應用，發展更安全、高效且永續之荔枝保鮮技術。

關鍵字：褐化、失水、多酚氧化酶、活性氧、膜穩定性、氣變包裝、採後保鮮

引言

荔枝(*Litchi chinensis*)爲臺灣重要的經濟果樹之一，近年荔枝栽培面積逐漸下降，104 年臺灣荔枝栽培面積統積資料顯示仍有超過 1 萬公頃，但根據 113 年臺灣農業統計年報資料顯示，全台荔枝栽培面積 9,534 公頃，總產量爲 45,137 公噸，主要產區爲高雄市(3,037 公頃)、台中市(1,785 公頃)、南投縣(1,322 公頃)、嘉義縣(926 公頃)、彰化縣(876 公頃)、台南市(815 公頃)、屏東縣(470 公頃)等(農業部，2026a)。由於環境氣候變遷、農業生產缺工和老齡化等因素，造成荔枝生產面積與總產量逐漸下降。與此同是，荔枝生產過程中，不穩定的產量同時影響外銷量的變化，近 10 年的荔枝外銷量同樣隨著荔枝總產量的變化逐漸下降，114 年外銷量約 119 公噸、外銷總値約 1,398 千美金，主要出口國家爲日本(102 公噸)、紐西蘭(7 公噸)、香港(5 公噸)、澳大利亞(3 公噸)(農業部，2026b)。

荔枝果實採收後果皮容易褐變是影響消費者購買與外銷品質迅速劣變的主因。古有云：「荔枝果實一日色變，二日味變，三日色香味盡失矣!」以此形容荔枝採收後品質的快速劣變，造成荔枝貯運與遠程外銷枝困難，若無良好的採後處理作業與冷鏈物流作業串接，難以穩定外銷供應。荔枝果實採收後因其果皮與果肉的結構特性，造成荔枝外果皮極容易失水，且因產期主要於夏季高溫期，使果實採收時累積高量的田間熱與呼吸熱，同時強烈的蒸散作用都造成外果皮快速失水，進一步使果皮細胞膜損傷，胞器失去分隔化，使細胞內的花青素或多酚類物質與褐化酵素反應，最終造成果皮的褐化反應失去外觀品質(Huang et al., 2024)。此外，果實採收後因微生物引起的果皮褐變也是造成貯運過程果實損耗的主因之一，由於荔枝果皮容易失水，因此在採後處理與貯運過程中須維持較高的相對濕度，但這同時也爲微生物提供更多的水分利用，使微生物得以快速增加生長，引起果實褐化與腐損的發生。

荔枝果實採收後面對許多生理與環境的不良影響，導致荔枝收後品質容易劣變，降低貯運壽命。由於良好的荔枝採收後處理作業對荔枝果實採後保鮮與褐化控制極爲重要，近 20 年有許多關於荔枝果皮褐化與採後處理保鮮作業的相關綜合論述文章與相關研究發表，故本文即針對荔枝果實採收後腐損與褐化之原因進行說明，並針對近年相關荔枝採後保鮮技術的開發研究與臺灣荔枝採後處理作業現況進行說明，以供相關學術研究與產業應用參考。

荔枝果皮褐化生理機制

荔枝果皮褐化是一個多層次且相互關聯的生理過程，其本質爲酵素性氧化反應，但其發生受到細胞膜完整性、抗氧化系統與能量代謝等多重因素調控(Holcroft and Mitcham, 1996; Huang et al., 2024; Jiang et al., 2004; Marboh et al., 2017)。

1. 細胞膜完整性與區室化破壞

細胞膜在荔枝果皮褐變中具有關鍵調控角色。正常情況下，褐化酵素(如 polyphenol oxidase, PPO)與底物(酚類)分別存在於不同細胞區室中(如質體與液胞)，彼此隔離(Jiang et al., 2004)。然而當細胞膜受損時，區室化結構破壞，使酵素與底物接觸，啓動氧化反應(Liu et al., 2011)。膜損傷的主要表現爲「細胞滲漏增加」，此現象常早於可見褐變發生(Huang et al., 2005)。例如在低溫貯藏或高溫環境下，膜通透性增加，即使尚未出現褐變，

細胞已處於不穩定狀態。此外，膜脂降解相關酵素(如 phospholipase D、lipoxygenase)活性增加，也會破壞膜結構，使細胞更易發生褐變。因此，細胞膜的完整性可視為「褐變發生的門檻」，一旦失去穩定性，即會啓動後續酵素反應(Huang et al., 2024)。

2. 酵素性氧化反應機制

荔枝果皮褐化的核心機制主要為酵素性氧化反應，其中以多酚氧化酶(PPO)最為關鍵(Huang et al., 2024)。這些酵素能催化果皮中多酚類物質(如兒茶酚、表兒茶素等)氧化，產生醌類物質，進一步聚合形成褐色色素(Jiang et al., 2004; Huang et al., 2024)。研究指出，在褐變過程中，酚類、類黃酮及花青素含量會顯著下降，而 PPO 活性則於初期快速上升，顯示其在褐變初期扮演啓動角色。PPO 的底物主要為雙酚類，而非單酚類，其中(-)-表兒茶素被證實為重要底物(Sue et al., 2010)。隨著褐變進程，其含量逐漸降低，顯示其被持續氧化消耗(Yang et al., 2011)。此外，PPO 活性受環境條件影響顯著，例如在中性偏酸環境(pH 約 6.8)活性最高，而低 pH 可抑制其活性，亦解釋酸處理可延緩褐變的原因()。除了 PPO 外，POD 亦參與褐變反應，其活性通常隨貯藏時間延長而增加，並與花青素含量呈負相關。過氧化物酶(peroxidase, POD)可利用過氧化氫(H_2O_2)作為氧化劑，催化酚類與花青素降解，形成褐色物質。兩者之間可能透過「耦合氧化反應」共同作用，加速褐變進程(Zhang et al., 2005)。

體而言，酵素性氧化反應是荔枝果皮褐化的直接原因，而 PPO 與 POD 的活性變化與褐變程度高度相關(Jiang et al., 2004)。

3. 花青素降解與相關酵素作用

荔枝果皮鮮紅色主要來自花青素，其穩定性直接影響外觀品質。花青素的降解是褐化的重要前驅過程，涉及多種酵素，包括花青素酶(anthocyanase, ANT)與漆酶(laccase, LAC)。ANT 可將花青素水解為花青素苷元，該物質極不穩定，容易進一步轉化為無色或被氧化物質，進而失去紅色。這些產物可被 PPO 再次氧化，形成褐色物質，因此 ANT 在褐變中扮演「前處理」角色(Zhang et al., 2001)。另一方面，LAC 亦被證實為重要的花青素降解酵素，其活性甚至可能高於 PPO。LAC 存在於液胞中，與酚類底物共存，能透過與表兒茶素的耦合氧化反應，促進花青素降解。研究指出，花青素降解與表兒茶素含量變化具有一致性，顯示兩者間具有密切關聯(Zhang et al., 2003)。

此外，不同品種間褐變差異亦與這些酵素活性相關。例如易褐變品種通常具有較高的 ANT、PPO 與 POD 活性，而抗褐變品種則相對較低(Zhang et al., 2015)。因此，花青素降解與相關酵素作用，是由「色素消失」轉變為「褐色形成」的關鍵橋樑。

4. 抗氧化系統與活性氧(reactive oxygen species, ROS)累積

荔枝果皮的抗氧化能力對於抑制褐變具有重要作用。抗氧化系統包括非酵素成分(如花青素、酚類、抗壞血酸)與酵素系統(如 superoxide dismutase, SOD、Catalase, CAT、ascorbate peroxidase, APX)(Jiang et al., 2004)。在採收後，果皮抗氧化能力逐漸下降，導致 ROS(如 H_2O_2、超氧陰離子等)累積。這些 ROS 會引發脂質過氧化，造成膜損傷，進一步促進褐變反應(Duan et al., 2011)。此外，抗氧化物質的消耗亦會加速褐變。例如抗壞血酸(ascorbic acid, AsA)能抑制酚類氧化，但當其耗盡後，氧化反應迅速進行。AsA 含量與褐變程度呈負相關。水分散失亦會降低抗氧化能力，並促進 ROS 累積與膜滲漏增加

(Jiang, 2000)。不同品種間抗氧化能力差異，也影響其褐變速率。整體而言，當抗氧化系統失衡時，氧化壓力增加，將加速褐變的發生。

5. 能量代謝與細胞生理失衡

細胞能量狀態是維持膜穩定與抑制褐變的重要因素。能量狀態通常以 ATP 含量與腺苷酸能量電荷(Adenylate Energy Charge, AEC)表示。在貯藏過程中，若 ATP 含量下降，會導致：膜穩定性降低、酵素調控失衡、活性氧增加。當能量不足時，果實可能出現呼吸突增現象，以補充能量，但同時也會產生更多 ROS，形成惡性循環(Liu et al., 2011; Yun et al., 2016)。研究指出，維持較高 ATP 與 AEC 水平可有效延緩褐變，並抑制膜滲漏與脂質過氧化。此外，能量代謝相關酵素(如 ATPase、cytochrome C oxidase, CCO)活性與褐變程度亦密切相關(Li et al., 2020; Zhang et al., 2017)。若能量供應不足，將導致細胞提前老化，促進褐變與腐敗發生。

荔枝果皮褐化並非單一因素所致，而是多種生理機制交互作用的結果。其發生過程可概括如下：

- 採後失水、低溫或逆境 → 細胞膜受損
- 膜完整性下降 → 區室化破壞
- 酵素(PPO、POD)與底物接觸 → 氧化反應啓動
- 花青素降解 → 顏色消失
- 酚類氧化 → 褐色物質形成
- 抗氧化能力下降 + ROS 累積 → 加速反應
- 能量不足 → 加劇膜損傷與褐變

上述過程形成一個高度複雜的生理網絡，其中「膜穩定性」、「酵素活性」、「抗氧化能力」與「能量狀態」爲四大核心調控因子。

荔枝採收後引起果皮褐化的因素

荔枝爲典型高經濟價值之亞熱帶果實，然而其採後貯藏壽命極短，果皮極易由鮮紅轉爲褐色，嚴重影響商品價值與市場接受度。果皮褐變屬於複雜之生理與生化反應結果，涉及細胞膜完整性破壞、酵素活化與氧化反應等過程。綜合研究顯示，水分散失、果實老化、冷害、機械損傷及病害感染爲主要誘發因子，且彼此之間具有交互作用關係，共同加速褐變發生。

1. 水分散失(Water loss)—褐變之關鍵驅動因子

水分散失被普遍認爲是荔枝果皮褐變最重要的誘發因子之一，其影響不僅限於外觀乾燥，更直接觸發細胞層級之生理變化(Holcroft and Mitcham, 1996; Huang et al., 2024; Marboh et al., 2017)。

首先，當果皮水分降低時，會導致細胞膜結構破壞，使原本區隔於液胞與細胞質中的酵素與底物發生接觸(Wang et al., 2010)。例如，PPO、POD 與酚類物質接觸後，迅速產生氧化反應，生成褐色聚合物(o-quinones)，形成可見褐變現象(Xiao et al., 2019)。其次，水分散失會改變果皮 pH 值。隨著脫水進行，果皮 pH 由約 4.1 上升至 4.5 以上，使花青素穩定性降低並轉爲無色或褐色形式，進一步促進褐變發生(Joas et al., 2005)。此外，水分散失呈現雙相模式：採收初期快速失水主要來自果皮，而後期則轉爲較慢的內部水

分流失。早期研究顯示，採收 24 小時內果實總重僅減少約 8%，但果皮重量卻可下降達 43%，顯示果皮對水分流失極爲敏感(Underhill and Simons, 1993)。環境條件亦對水分散失具有決定性影響。低相對濕度(如 60% RH)會顯著加速褐變，而高濕度(95–100% RH)則可有效維持果皮紅色並降低褐變程度(Vilasachandran and Sargent, 1997)。因此，水分散失不僅爲物理現象，更是誘發氧化反應與細胞結構崩解之關鍵起點。

2. 果實老化(Senescence)—內在生理劣變機制

荔枝屬於非更年型果實，採收後無後熟能力，隨時間推移即進入不可逆之老化過程。此過程與褐變密切相關，主要透過細胞膜劣化與氧化壓力增加所驅動(Huang et al., 2005)。在採收後數日內，果皮細胞膜滲漏率迅速上升，導致電解質外流及細胞區隔化破壞(Wang et al., 2010)。此現象使液胞內花青素與細胞質中氧化酵素接觸，進一步促進褐變反應。同時，老化過程伴隨活性氧(ROS)累積與脂質過氧化反應增加，指標物質如丙二醛(malondialdehyde, MDA)與 H_2O_2含量上升，顯示細胞膜遭受氧化傷害(Underhill et al., 1992)。此外，抗氧化系統(如 SOD、CAT、APX)活性逐漸下降，使細胞無法有效清除自由基，進一步加速褐變。

在基因層級，研究亦指出老化初期會啓動逆境反應相關基因，而進入褐變階段後，則轉爲細胞壁降解與氧化反應相關基因的上調表現，顯示褐變爲老化後期的重要表徵(Zhou et al., 2020)。

3. 冷害(Chilling injury)—低溫逆境誘發之褐變

荔枝爲亞熱帶果實，對低溫極爲敏感，當貯藏溫度過低(如 0-3°C)時，容易產生冷害現象，並伴隨果皮褐變(Huang et al., 2024)。冷害的主要機制在於低溫破壞細胞膜脂質結構，使膜流動性下降，進而導致膜滲漏與代謝失衡。在 0°C 貯藏 14-21 天後，荔枝果皮滲漏率顯著上升，並伴隨花青素與酚類物質快速下降(Hu et al., 2004 and 2006)。此外，冷害會促進 LOX 活性增加，加速膜脂氧化與降解，進一步破壞細胞結構(Liu et al., 2005)。同時，抗氧化酵素活性下降，使果實對氧化壓力的抵抗能力降低(Liu et al., 2005; Hu et al., 2006)。值得注意的是，冷害與水分散失具有交互作用。例如低溫貯藏後轉至常溫時，細胞膜滲漏會急劇增加，導致褐變快速發生，顯示溫度波動亦爲重要影響因子。

4. 機械性損傷(Mechanical injury)—誘發褐變與腐敗之起點

機械損傷爲採收與運輸過程中常見之問題，對荔枝果皮品質具有顯著影響。果實在採收、搬運或包裝過程中，因碰撞、摩擦或跌落，會造成果皮角質層破裂與微裂紋形成。這些微裂紋不僅增加水分散失速率，也使中果皮中的花青素暴露於氧氣環境，加速氧化反應 。此外，機械損傷會誘導乙烯生成與呼吸速率上升，進一步促進老化與褐變。即使輕微損傷亦可在 1–4 天內明顯增加褐變程度，並改變果實風味品質(Xu et al., 2020)。此外，損傷部位常成爲病原菌侵入的入口，使褐變與腐敗同步發生。

5. 病害感染(Pathogen infection)—褐變與腐敗的加速因子

荔枝果實在採收時即可能帶有潛伏性病原菌(Kumar et al., 2025)，尤其是炭疽病菌(*Colletotrichum* spp.)。Li et al. (2005)的研究指出，約 65–90%的果實在採收時已存在潛伏感染。當果實進入貯藏或運輸階段，隨著細胞膜受損與水分流失，病原菌迅速繁殖，

產生酵素分解細胞組織，導致水浸狀褐斑與腐敗現象。此外，高濕度環境雖可降低水分散失，但亦可能促進真菌生長，使褐變與腐敗問題更加嚴重。因此，病害常與其他因素(如機械損傷與高濕度)共同作用，形成複合性劣變(Kumar and Anal, 2021)。

荔枝果皮採後褐變爲多因子交互作用之結果，其中以水分散失爲主要驅動因子，而老化、冷害、機械損傷與病害則爲重要促進因子。這些因素最終皆透過破壞細胞膜完整性，促使酵素性氧化反應發生，導致花青素降解與褐變產生。因此，在實際採後管理中，應以「維持細胞膜完整性」爲核心策略，透過控制濕度、適當低溫貯藏、減少機械損傷及病害控制等綜合措施，方能有效延緩荔枝果皮褐變並延長貯藏壽命。

近年研究方向與發展

1. 覆膜塗層(coating)

蔬果塗層處理(edible coating)係於果實表面形成一層由多醣、蛋白質或脂質構成之可食性薄膜，其核心原理在於建立「半透性屏障」，以調控水分與氣體交換。此類塗層可降低水分蒸散與氧氣滲透，進而抑制呼吸速率與延緩成熟，同時減少乙烯作用對後熟與老化之影響。此外，部分塗層材料(如幾丁聚醣)具天然抗菌與抗氧化特性，可抑制病原菌生長並降低活性氧(ROS)累積，維持細胞膜完整性與品質穩定。塗層技術可有效延緩果實軟化、褐變與營養流失，進而延長貯藏壽命。實務上廣泛應用於草莓、芒果、番茄及鮮切蔬果等，並常與冷鏈或氣調貯藏結合，以提升保鮮效果與商品價值，爲現代採後處理重要技術之一(Alemu et al., 2025; Dai et al., 2025)。

Kumar et al. (2024)利用可食性水膠體在常溫貯藏條件(溫度 27°C、相對濕度 82 %)下抑制荔枝果皮褐變及延長貯藏壽命之效果。可食性塗膜材料，包括羧甲基纖維素(carboxymethyl cellulose, CMC)、甲基纖維素(methylcellulose, MC)與阿拉伯膠(acacia gum, AG)，皆可在常溫條件下延長荔枝的貯藏壽命並維持採後品質。其中以 CMC 處理效果最爲顯著，在 7 天常溫貯藏期間，相較於未處理果實，其可溶性固形物(約 65%)、可滴定酸(約 42%)、抗壞血酸(約 24%)及總酚(約 40%)之保留率均較高。此外，CMC 處理亦顯著降低 PPO(約 25%)與 POD(約 28%)活性，同時延緩失重與腐敗發生。因此，CMC 塗膜可作爲一種環保且可替代化學保鮮劑的技術。Li et al. (2026a)利用高碘酸鈉氧化阿拉伯膠(oxidized gum arabic)和幾丁聚醣(chitosan)作爲成膜基材，並添加 ε-聚賴胺酸(ε-polylysine)與沒食子酸(gallic acid)，構建具協同增強效果的複合薄膜，顯著提升薄膜的緻密性、抗紫外線能力與穩定性；膜的水蒸氣透過率與氧氣透過率顯著降低。荔枝保鮮試驗證實，此薄膜在延緩營養流失與抑制微生物生長方面顯著優於傳統抑菌劑普克利(prochloraz)。

目前塗覆技術的應用材料除了基礎的腹膜材料，包括幾丁聚醣、海藻酸鈉、CMC、明膠(Gelatin)、乳清蛋白(Whey protein)、甘油等(Alemu et al., 2025; Dai et al., 2025)，亦會在塗層中添加可抑菌材料或具功能性的添加副材料等。Yang et al. (2023)利用柚子萃取物(pomelo extract)結合幾丁聚醣/檸檬酸塗層處理，評估荔枝(cv. Yu He Pao)冷藏後品質變化。其指出利用 1%幾丁聚醣配合 2%柚子萃取物塗層處理的荔枝果實於 5°C貯藏 14 天後回溫 20°C、3 天，可顯著降低果皮褐化(16.5%)、失重率(28.0%)與病害嚴重度(65.7%)，並延長果實貨架壽命至少 2 天，果實可售率仍有 73.3%。此外，Yu et al. (2024)利用硒奈米粒子(selenium nanoparticles, SeNPs)具有優異的抗氧化與抗菌特性，結合並利用多酚與多醣之間的交互作用來改善 SeNPs 的結構與生物活性，將其導入澱粉薄膜中，使材料同時具備抗氧化、抗菌與阻隔紫外線功能，以延長食品保存期限，並藉由自增強效應提

升材料機械強度，使其適用於食品包裝。利用含 SeNPs 澱粉薄膜可有效減少荔枝果實失水、防止營養流失、抑制微生物生長、維持荔枝品質並延長貯藏壽命。Zheng et al. (2026) 利用納他黴素(natamycin)混和羧甲基纖維素鈉與季銨鹽型幾丁聚醣形成穩定、無味且具廣效抗真菌活性之覆膜材料，有效抑制果實腐敗，對荔枝露疫病菌(*Peronophythora litchii*)的抑制率高達 99.50%，並在常溫條件下將荔枝貯藏壽命延長至 7 天。

2. 化學處理

荔枝果實採收後貯藏前的化學處理主要目的在於穩定果皮花青素含量、提升果皮抗氧化能力、延緩果皮褐化，維持果實品質並抑制果實病害的發生。

植物生長激素/生長調節劑於荔枝果實採收後的應用包括水楊酸、茉莉酸、褪黑激素和乙烯等(Kumar et al., 2013; Xie et al., 2022; Deshi et al., 2022)。Siddiqui et al. (2024)將採收後的荔枝果實利用超音波震盪配合 2mM 水楊酸(salicylic acid)浸泡處理並將果實貯藏在室溫環境，可有效降低果實失重率、腐敗發生率及活性氧生成量。同時，此處理能維持較高的可溶性固形物、可滴定酸度、總酚含量、抗氧化能力及苯丙氨酸解氨酶活性，並顯著抑制多酚氧化酶活性。牡荊素(Vitexin，8-β-D-葡萄糖苷芹菜素)屬於類黃酮化合物，主要來源於山楂葉片及其他中藥材。採收後的荔枝果實利用 1mM 的牡荊素溶液浸泡 5 分鐘，貯藏在 25 °C 條件下，牡荊素處理可有效減緩荔枝果皮褐變。同時，牡荊素能抑制果皮中 ROS 的生成，並提升穀胱甘肽過氧化酶(glutathione peroxidase)活性，從而在氧化傷害中發揮保護作用。此外，牡荊素處理可透過調控 LcSnRK1 以及 LcbZIP1/3 的表現，減緩細胞內 ATP 含量的下降，維持細胞膜穩定。有研究指出，ethephon 處理可提升果皮抗氧化能力與病原防禦機制來抑制荔枝採後露疫病發生(Zhu et al., 2025)。採收後的荔枝果實利用 400 mg·L^{-1} ethephon 溶液浸泡 2 分鐘，可顯著抑制 *Peronophythora litchii* 感染，降低病害指數與果皮褐變指數，但會提升果實乙烯產生速率和多種關鍵抗氧化與防禦相關酵素活性。草酸(oxalic acid)具有作爲荔枝保鮮劑的潛力，採收後的荔枝果實利用 2 mM 草酸溶液浸泡 10 分鐘再進行貯藏，可有效延緩荔枝老化，降低 40%的褐變率、腐損率下降 64%，同時維持細胞膜完整性與粒線體結構。草酸處理亦提升 ATP/ADP 含量及能量代謝相關酵素(H^+-ATPase 與 Ca^{2+}-ATPase)活性，進而維持細胞結構並抑制荔枝褐變與老化(Li et al., 2026b)。

荔枝果實採收後爲減少果皮失水而維持相對高的相對濕度貯藏環境，進而造成果皮上的微生物更容易滋生導致果實腐損的發生。荔枝果實採收後的果皮抑菌處理也是採後保鮮的重要措施。微酸性電解水(slightly acidic electrolyzed water)被認爲是一種安全的消毒技術，不僅能維持採後農產品品質，亦可提升其抗病能力。根據 Jiang et al. (2025) 的研究指出，荔枝果實採收後利用 25 mg/L 有效氯濃度的微酸性電解水浸泡 5 分鐘，可顯著提升荔枝採後品質、降低病害發生率，並改善果皮外觀及果肉營養含量。同時，在貯藏後 3 天內，果皮中多種抗病相關酵素(disease resistance enzymes)活性顯著提高，包括苯丙氨酸解氨酶、肉桂酸-4-羥化酶、4-香豆酸輔酶 A 連接酶、肉桂醇脫氫酶、過氧化酶、多酚氧化酶、幾丁質酶及 β-1,3-葡聚醣酶。微酸性電解水可透過調控苯丙烷代謝途徑，誘導抗病酵素活性並促進抗病物質累積，從而抑制病害發展並提升荔枝貯藏品質。

利用天然植物萃取精油或有益微生物代謝物取代化學抑菌劑也是目前研究的方向之一。荔枝炭疽病(由 *Colletotrichum fructicola* 引起)是影響荔枝採後的重要病害之一。百里酚(thymol)對 *C. fructicola* 具有明顯的抑制效果。In vitro 試驗結果指出，百里酚可顯著抑制病原菌菌絲生長與孢子萌發。百里酚亦能提升荔枝果實中防禦相關酵素活性，顯示其可誘導宿主抗性(Chen et al., 2026)。此外，利用酵母菌 *Debaryomyces hansenii* Y-1 與細

菌 *Bacillus atrophaeus* TE-7 共培養之上清液浸泡荔枝果實，可透過調控苯丙烷代謝與 ROS 平衡，同時提升荔枝抗病性與抗氧化能力，有效延緩採後品質劣變，是極具潛力的天然生物保鮮技術(Li et al., 2026a)。

其他化學材料包括海藻糖(trehalose)、富氫水(hydrogen-rich water)、氧化鋅奈米粒子材料皆有研究報告指出具有荔枝採收後保鮮之效果(Liu et al., 2025; Gao et al., 2024a, b)。

3. 預冷(precooling)

臺灣荔枝果實的採收季在 5-7 月，果園白天溫度偏高，尤其在下午 1:00 至 3:00 間，田間溫度可高達 35°C，甚至更高。採收時，荔枝果實累積大量田間熱，進而促進生理反應。預冷是採後處理技術之一，用於去除新鮮農產品的田間熱，降低代謝速率，並限制貯藏期間的腐敗發生(Nowak and Mynett, 1985; Rudnucki et al., 1991)。「預冷溫度」是影響荔枝貯運物流品質的核心因子，結合保冷袋配置與隔熱設計，才能有效抑制褐變與品質劣變(Guo et al., 2025)。果實溫度預冷至 15°C與 5°C之果實於相同隔熱保冷袋包裝條件下，第二天時 15°C的果皮眞菌生長速率較快，可達 3.87CFU/g。同時增加保冷袋數量則可顯著降低前兩天果實可溶性固形物的下降速率(Guo et al., 2025)。

預冷方法包括室內風冷(room cooling)、碎冰預冷(icing cooling)、水冷(hydrocooling)、強制風冷(forced-air cooling)及眞空冷卻(vacuum cooling)(Brosnan and Sun, 2001)。Zeng et al. (2026)比較荔枝採收後利用冰水預冷與壓差預冷的影響。與強制風冷相比，冰水預冷可維持較佳的果皮色澤、較快的降溫速率、較高的果皮含水量及較佳的果實硬度。冰水預冷在維持外觀與水分上表現最佳，但壓差預冷(特別是約 10 m/s)在兼顧冷卻效率、品質維持與產業操作性上更具應用潛力，未來關鍵在於水分管理與包裝優化。

4. 氣變包裝(modified atmosphere packaging)

氣變包裝的核心概念，在於利用包裝薄膜對氧氣(O_2)、二氧化碳(CO_2)及水蒸氣之選擇性透過特性，使果實在密封或半密封狀態下，因呼吸作用消耗 O_2並釋放 CO_2，逐漸建立一個有利於品質保持的平衡氣體環境。對荔枝而言，適度降低 O_2濃度可減緩呼吸代謝與氧化反應，適量提升 CO_2則有助於抑制褐變相關酵素活性與部分微生物生長；同時，包裝內高濕環境可減少蒸散失水，降低果皮乾縮與褐化風險。

Tian 等人(2005)在'Heiye'荔枝研究中指出，聚乙烯袋形成之 MAP 條件約爲 15–19% O_2與 2–4% CO_2；此條件雖可改善品質，但控制氣氛(CA)在特定組成下通常較 MAP 更能有效延緩褐變與腐敗。Passafiume et al. (2023)利用荔枝(cv. Kwai Mai)果實於 5°C進行不同氣體濃度的貯藏試驗，其利用 5% O_2 + 20% CO_2 + 75% N_2的氣體條件具有最佳的貯藏效果，有效延緩荔枝果皮褐化，並維持較佳之感官品質與食用品質。

臺灣近年荔枝產業保鮮技術應用

臺灣荔枝產期集中於每年 5 月至 7 月，採後處理流程必須講求「快速降溫、高濕保鮮與冷鏈銜接」，以降低失水、褐化與腐損風險。一般作業可分爲田間採收、集貨處理、預冷、分級包裝與低溫貯運等階段。

採收時以清晨或上午爲佳，此時果實田間熱較低，可減少蒸散失水。採果時通常以整個結果枝剪下，再於陰涼處進行修整與脫粒，避免陽光直射造成果皮升溫與乾燥。果

實採下後應立即置於遮陰通風處並灑水保濕，並於 3 小時內送達集貨包裝場進行後續處理，以維持最佳品質。採收過程須避免擠壓與摩擦，尤其玉荷包品種果皮突起明顯，過度堆疊容易導致機械傷與後續褐化。進入集貨場後，果實先進行灑水清洗以去除灰塵並補充表面水分，隨後進行選別與初級分級，剔除裂果、病果與過熟果。集貨場環境需保持遮陰、高濕與良好通風，理想狀態下設置低溫作業區，使分級、包裝與預冷皆在降溫環境中完成，以避免果實回溫。

預冷是荔枝採後處理的關鍵步驟，目的在快速移除田間熱並降低呼吸速率。常見方式包括冰水預冷(hydrocooling)、壓差預冷(forced-air cooling)及室內風冷。實務上多先以冰水或冷水將果溫迅速降至約 10–15°C，再轉入 5°C 冷藏庫暫存。壓差預冷約 30–40 分鐘即可有效降溫，但須維持高空氣濕度，以防果皮失水。完成預冷後，果實應立即於 10–15°C 之低溫包裝區進行包裝，避免冷鏈中斷。貯藏與運輸階段建議維持 4–5°C、相對濕度 90–95%，可有效延緩果皮褐化與病害發生。荔枝對乙烯敏感，運輸時應避免與高乙烯作物混櫃。裝櫃與配送過程必須全程維持冷鏈，避免溫度劇烈波動導致凝結水與腐敗。上架販售時亦應保持 5–10°C 低溫展示，以延長櫥架壽命。

整體而言，臺灣荔枝採後處理的核心精神爲「快速降溫、全程保濕、避免機械傷害與維持冷鏈連續性」。只要田間採收與集貨預冷銜接順暢，配合適當包裝與低溫高濕貯運，即可有效抑制果皮褐化與腐損，確保內銷與外銷市場的品質穩定。

結語

荔枝果皮採後褐化爲一複雜且多因子交互作用之生理現象，其核心機制涵蓋細胞膜結構破壞、酵素性氧化反應、花青素降解、活性氧累積與能量代謝失衡等多重過程。綜合本文分析可知，「細胞膜完整性」爲調控褐變發生的關鍵樞紐，一旦膜系統受損，將引發區室化破壞，使氧化酵素與底物接觸，進而快速啓動褐變反應。同時，抗氧化系統衰退與能量供應不足亦會形成惡性循環，加速品質劣變。在實務應用上，水分散失被確認爲最主要的誘發因子，因此維持高濕環境與降低蒸散速率爲採後管理的首要策略。此外，避免低溫傷害、減少機械損傷與加強病害控制，亦是延緩褐變不可或缺的措施。近年研究顯示，可食性塗層、天然抗氧化物質處理、微生物抑制技術及奈米材料應用等，皆能有效提升荔枝採後品質與貯藏壽命；而預冷與氣變包裝技術則在降低呼吸速率、抑制氧化反應及維持水分平衡方面具有顯著效果。

就臺灣產業現況而言，荔枝採後處理已逐步朝向系統化與標準化發展，以「快速降溫、高濕保鮮與全程冷鏈」爲核心，結合田間管理與後端物流技術，可有效提升內外銷市場之品質穩定性。然而，面對氣候變遷與市場需求轉變，單一技術已難以全面解決褐變問題，未來應朝向多技術整合與智慧化管理發展，例如結合感測技術監控貯運環境、導入精準氣體調控系統，以及開發具多功能性之綠色保鮮材料。整體而言，荔枝果皮褐變之控制須從生理機制與實務應用雙軌並進，透過跨領域整合研究與產業鏈協同合作，方能建立兼具效率、安全與永續性的採後保鮮體系，進一步提升臺灣荔枝產業之國際競爭力與長期發展潛力。

參考文獻

農業部。2026a。農業統計年報(113 年)-作物生產。
https://agrstat.moa.gov.tw/moasdweb/book/Book.aspx?bookID=1427
農業部。2026b。農產品貿易統計表-荔枝。https://agrstat.moa.gov.tw/moasdweb/inquire/TradeReport.aspx
Alemu, T. T., Intipunya, P., and Gebeyo, B. A. 2025. A comprehensive review of edible coatings for

postharvest management of fruits and vegetables: enhancing food and nutrition security. Discover Agriculture, 3(1), 190.

Chen, S., Chen, T., Lv, X., Liu, X., Hao, T., Meng, J., Cheng, S. and Chen, Q. 2026. Antifungal activity and mechanism of thymol against Colletotrichum fructicola that causes litchi anthracnose. Pesticide Biochemistry and Physiology, 106982.

Dai, L.; Wang, X.; Zhang, J.; Li, C. 2025. Application of Chitosan and Its Derivatives in Postharvest Coating Preservation of Fruits. Foods 14, 1318. https://doi.org/10.3390/foods14081318

Deshi, V., Homa, F., Ghatak, A., Aftab, M. A., Mir, H., Ozturk, B., and Siddiqui, M. W. 2022. Exogenous methyl jasmonate modulates antioxidant activities and delays pericarp browning in litchi. Physiology and Molecular Biology of Plants, 28(8), 1561-1569.

Duan, X., Liu, T., Zhang, D., Su, X., Lin, H., and Jiang, Y. 2011. Effect of pure oxygen atmosphere on antioxidant enzyme and antioxidant activity of harvested litchi fruit during storage. Food Research International, 44(7), 1905–1911. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.027

Gao, H., Li, F., Chen, X., You, Z., Wei, L., Liu, Y., Liu, P., He, M., Hong, M., Zhu, H., Duan, X., Jiang, Y., and Yun, Z. 2024a. The role of hydrogen-rich water in delaying the pulp breakdown of litchi fruit during postharvest storage. Food Chemistry, 453, 139694.

Guo, J.; Liu, D.; Lin, G.; Qiu, H.; Guo, P.; Ding, Z.; Wu, D.; Wang, J.; Lv, E. 2025. Effects of Different Litchi E-Commerce Logistics Packaging Methods on Microenvironment and Fruit Quality Variations. Foods 14, 1305. https://doi.org/10.3390/foods14081305

Guo, X., Li, Q., Luo, T., Xu, D., Zhu, D., Li, J., Han, D., Wu, Z. 2024b. Zinc Oxide Nanoparticles Treatment Maintains the Postharvest Quality of Litchi Fruit by Inducing Antioxidant Capacity. Foods 13, 3357. https://doi.org/10.3390/foods13213357

Holcroft, D. M., and Mitcham, E. J. 1996. Postharvest physiology and handling of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). Postharvest Biology and Technology, 9, 265–281.

Hu, W. R., Ji, Z. L., Liu, S. Z., and Zhang, Z. Q. 2004. Changes of pericarp color and the content of anthocyanin and flavonoids in litchi pericarp during chilling-injured temperature storage. Acta Horticulturae Sinica, 31, 723–726. (In Chinese with English abstract) https://www.ahs.ac.cn/EN/Y2004/V31/I6/723

Hu, W. R., Liu, S. Z., Zhang, Z. Q., Jiang, Y. M., and Ji, Z. L. 2006b. Reduction of chilling injury in litchi fruit by 1-MCP. Acta Horticulturae Sinica, 33(6), 1203. (In Chinese with English abstract). https://www.ahs.ac.cn/EN/Y2006/V33/I6/1203

Huang, C. C., Paull, R. E., and Wang, T. T. 2024. Litchi postharvest physiology and handling. Crop Science, 64(4), 2014-2063.

Huang, X. M.,Wang, H. C., Yuan,W. Q., Lu, J. M., Yin, J. H., Luo, S., and Huang, H. B. 2005. A study of rapid senescence of detached litchi: Roles of water loss and calcium. Postharvest Biology and Technology,36(2), 177–189. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.12.005

Jiang, X.; Lin, X.; Lin, Y.; Chen, Y.; Chen, Y.; Chen, H. 2025. Slightly Acidic Electrolyzed Water Improves the Postharvest Quality of Litchi Fruit by Regulating the Phenylpropane Pathway. Horticulturae 11, 751. https://doi.org/10.3390/horticulturae11070751

Jiang, Y. 2000. Role of anthocyanins, polyphenol oxidase and phenols in lychee pericarp browning. Journal of the Science of Food and Agriculture, 80(3), 305–310. https://doi.org/10.1002/1097-0010(200002)80:3%3C305::AID-JSFA518%3E3.0.CO;2-H

Jiang, Y., Duan, X., Joyce, D., Zhang, Z., and Li, J. 2004. Advances in understanding of enzymatic browning in harvested litchi fruit. Food Chemistry, 88, 443–446.

Joas, J., Caro, Y., Ducamp, M. N., and Reynes, M. 2005. Postharvest control of pericarp browning of litchi fruit (*Litchi chinensis* Sonn cv Kwaï Mi) by treatment with chitosan and organic acids: I. Effect of pH and pericarp dehydration. Postharvest Biology and Technology,38(2), 128–136. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.06.013

Kumar, D., Mishra, D. S., Chakraborty, B., and Kumar, P. 2013. Pericarp browning and quality management of litchi fruit by antioxidants and salicylic acid during ambient storage. Journal of food science and technology, 50(4), 797-802.

Kumar, P., Sethi, S., and Nayak, S. L. 2024. Impact of edible hydrocolloids on quality and shelf life of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) under ambient conditions. Appl. Fruit Sci. 66(3), 1119-1127.

Kumar, V., Kumari, P., Samal, I., Singh, S., Kumar, A., and Kumar, L. 2025. Efficacy, cost-effectiveness, and residue levels of fungicides for managing panicle blight, fruit blight and anthracnose diseases of litchi. Crop Protection, 107391.

Kumar,V. and Anal, A.K.D. 2021. Postharvest diseases of litchi and their management, in: Postharvest Handling and Diseases of Horticultural Produce, CRC Press, Boca Raton, pp. 231–238.

Li, D., Cheng, H., Xie, L., Luo, H., Zhang, D., Zhao, J., Jiang Y. and Gong, L. 2026a. Physicochemical properties of edible oxidized gum arabic–polylysine crosslinked films and their effects on the postharvest preservation of litchi. Postharvest Biology and Technology, 233, 114012.

Li, T., He, M., Zeng, J., Chen, Z., Hongxia, Q., Duan, X., and Jiang, Y. 2020. Choline chloride alleviates the

pericarp browning of harvested litchi fruit by inhibiting energy deficiency mediated programmed cell death. Postharvest Biology and Technology, 167, 111224. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111224

Li, X., Liu, A., and Chen, W. 2005. Studies on development and control of anthracnose of lychee fruit before and after harvest. Acta Horticulturae, 665, 409–413. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.665.51

Li, Z., He, J., Cheng, N., Wang, X., Wang, Y., Hu, Y., ... & Li, W. 2026b. Oxalic acid application preserves postharvest litchi quality by enhancing LcWRKY75-LcATP8-dependent energy supply. Postharvest Biology and Technology, 233, 114061.

Liu, A., Chen, W., and Li, X. 2005. Changes in the postharvest physiology and lychee fruits latently infected by anthracnose fungus and the biological characteristic of the pathogenic fungus of the disease. Acta Horticulturae, 665, 365–372. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.665.45

Liu, G., Liu, S., Liu, J., Xiang, Y., Zhu, L., Xu, X., and Zhang, Z. 2025. Trehalose delays postharvest browning of litchi fruit by regulating antioxidant capacity, anthocyanin synthesis and energy status. Postharvest Biology and Technology, 219, 113249

Liu, H., Song, L., You, Y., Li, Y., Duan, X., Jiang, Y., Joyce, D. C., Ashraf, M., and Lu, W. 2011. Cold storage duration affects litchi fruit quality, membrane permeability, enzyme activities and energy charge during shelf time at ambient temperature. Postharvest Biology and Technology, 60(1), 24–30. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.11.008

Marboh, E. S., Singh, S. K., Pandey, S., Nath, V., Gupta, A. K., and Pongener, A. 2017. Fruit cracking in litchi (*Litchi chinensis*): An overview. Indian Journal of Agricultural Sciences, 87, 3–11.

Nokthai, P., Lee, V.S., and Shank, L. 2010. Molecular modeling of peroxidase and polyphenol oxidase; substrate specificity and active site comparison. International Journal of Molecular Sciences 11, 3266-3276.

Passafiume, R.; Roppolo, P.; Tinebra, I.; Pirrone, A.; Gaglio, R.; Palazzolo, E.; Farina, V. 2023. Reduction of pericarp browning and microbial spoilage on litchi fruits in modified atmosphere packaging. Horticulturae, 9(6), 651.

Rudnucki, R.M., Nowak, J., and Goszczynska, D.M. 1991. Cold storage and transportation conditions for cut flowers cutting and potted plants. Acta Horticulturae 298, 225-230.

Sun, J., Jiang, Y., Shi, J., Wei, X., Xue, S. J., Shi, J., and Yi, C. 2010. Antioxidant activities and contents of polyphenol oxidase substrates from pericarp tissues of litchi fruit. Food Chemistry, 119(2), 753–757. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.025

Tian, S. P., Li, B. Q., Xu, Y., and Hu, Z. H. 2005. Effects of O_2 and CO_2 concentrations on physiology and quality of litchi fruit in storage. Food Chemistry, 91(4), 659–666.

Underhill, S. J., and Simons, D. H. 1993. Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) pericarp desiccation and the importance of postharvest microcracking. Scientia Horticulturae, 54(4), 287–294. https://doi.org/10.1016/0304-4238(93)90107-2

Underhill, S. J., Bagshaw, J., Prasad, A., Zauberman, G., Ronen, R., and Fuchs, Y. 1992. The control of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) postharvest skin browning using sulphur dioxide and low pH. Acta Horticulturae, 321, 732–741. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1992.321.92

Vilasachandran, T.,&Sargent, S.A. (1997). Postharvest quality of lychee fruit: Role of relative humidity and panicle. HortScience, 32, 433-433. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.32.3.433D

Wang, C. Y., Chen, H., Jin, P., and Gao, H. 2010. Maintaining quality of litchi fruit with acidified calcium sulfate. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58(15), 8658–8666. https://doi.org/10.1021/jf100607e

Wang, J., Wang, X., Xu, B., and Jin, Z. 2010. Physiological changes during the process of pericarp browning in the postharvest litchi. Agricultural Science & Technology-Hunan, 11(5), 10–16. https://www.cabdirect.org/cabdirect/FullTextPDF/2010/20103342789.pdf

Xiao, L., Li, T., Jiang, G., John, A., Zhang, D., Jin,W., Duan, X.,and Jiang,Y. 2019. Effects of dry fog humidification on pericarp browning and quality of litchi fruit stored at low temperature. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 12(4), 192–196. https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191204.4420

Xie, J., Qin, Z., Pan, J., Li, J., Li, X., Khoo, H. E., & Dong, X. 2022. Melatonin treatment improves postharvest quality and regulates reactive oxygen species metabolism in “Feizixiao” litchi based on principal component analysis. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 965345.

Xu, S., Lu, H., & Sun, X. (2020). Quality detection of postharvest litchi based on electronic nose: A feasible way for litchi fruit supervision during circulation process. HortScience, 55(4), 476–482. https://doi.org/10.21273/HORTSCI14750-19

Yang, C.; Lee, F. W.; Cheng, Y. J.; Chu, Y. Y.; Chen, C. N.; Kuan, Y. C. 2023. Chitosan coating formulated with citric acid and pomelo extract retards pericarp browning and fungal decay to extend shelf life of cold-stored lychee. Scientia Horticulturae 310, 111735.

Yang, Q., Shi, D., Ren, Y., Yang, C., Qu, H., Jiang, Y., & Li, T. 2024. Vitexin is a potential postharvest treatment for ameliorating litchi fruit pericarp browning by regulating autophagy. Postharvest Biology and

Technology, 216, 113061.
Yang, S., Feng, L., Yang, E., Chen, Y., Dong, X., Su, X., & Jiang, Y. 2011. Lipofuscin-Like substance involved in pericarp browning of postharvest litchi fruit during storage. The Open Food Science Journal, 5(1), 47–50. https://doi.org/10.2174/1874256401105010047
Yu, Y., Zhou, J., Chen, Q., Xie, F., Zhang, D., He, Z., Cheng, S. and Cai, J. 2024. Self-reinforced multifunctional starch nanocomposite film for litchi fruit postharvest preservation. Chemical Engineering Journal, 486, 150262.
Yun, Z., Qu, H.,Wang, H., Zhu, F., Zhang, Z., Duan, X., Yang, B., Chen, Y., and Jiang, Y. 2016. Comparative transcriptome and metabolome provide new insights into the regulatory mechanisms of accelerated senescence in litchi fruit after cold storage. Scientific Reports, 6(1),1–16. https://doi.org/10.1038/srep19356
Zeng, Z., Wang, J., Lu, H., Deng, Z., Liu, D., Guo, P., Ding, Z., Lü, E., and Guo, J. 2026. Effect of Different Pre-Cooling Methods on the Quality of Litchi During Cold Storage. Agronomy 16, 428. https://doi.org/10.3390/agronomy16040428
Zhang, Z. Q., Pang, X. Q., Duan, X. W., and Ji, Z. L. 2003. The anthocyanin degradation and anthocyanase activity during the pericarp browning of lychee fruit. Scientia Agricultura Sinica, 36(8), 945- 949. (In Chinese with English abstract). https://www.chinaagrisci.com/CN/Y2003/V36/I8/945
Zhang, Z., Hu, M., Yun, Z., Wang, J., Feng, G., Gao, Z., Shi, X., and Jiang, Y. 2017. Effect of tea seed oil treatment on browning of litchi fruit in relation to energy status and metabolism. Postharvest Biology and Technology, 132, 97–104. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.05.010
Zhang, Z., Huber, D. J., Qu, H., Yun, Z. E.,Wang, H., Huang, Z., Huang, H., and Jiang, Y. 2015. Enzymatic browning and antioxidant activities in harvested litchi fruit as influenced by apple polyphenols. Food Chemistry, 171, 191–199. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.001
Zhang, Z., Pang, X., Ji, Z.,and Jiang,Y. 2001. Role of anthocyanin degradation in litchi pericarp browning. Food Chemistry, 75(2), 217–221. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00202-3
Zhang, Z., Pang, X., Xuewu, D., Ji, Z., and Jiang, Y. 2005. Role of peroxidase in anthocyanin degradation in litchi fruit pericarp. Food Chemistry, 90(1–2), 47–52. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.023
Zheng, X., Lai, K., Han, X., Deng, C., Wu, W., Chen, Z.,Liu, T. and Wang, Q. 2026. Physically crosslinked sodium carboxymethyl cellulose/chitosan antifungal coating for litchi preservation. International Journal of Biological Macromolecules, 151167.
Zhou, Y., Chen, Z., He, M., Gao, H., Zhu, H., Yun, Z., Qu, H., and Jiang, Y. 2020. Unveiling the complexity of the litchi transcriptome and pericarp browning by single-molecule long-read sequencing. Postharvest Biology and Technology, 168, 111252. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111252
Zhu, D.; Luo, T.; Guo, X.; Li, J.; Li, Q.; Chen, Y.; Ou, W.; Han, D.; Wu, Z. 2025. Ethephon Treatment Enhanced Postharvest Litchi Fruit Resistance to Peronophythora litchii by Strengthening Antioxidant Capacity and Defense Systems. Foods 14, 3493. https://doi.org/10.3390/foods14203493

Physiological Mechanisms and Inhibition Strategies of Postharvest Pericarp Browning in Litchi: A Review of Recent Advances

Kuo-Dung Chiou[1,3], Min-Chi Hsu[2], Pei-ju Lin[1] and Yu-Shen Liang[3,*]

1 Fengshan Tropical Horticultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture
2 Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture
3 Department of Plant Industry, National Pingtung University of Science and Technology,
* Correspondence: justinliang@mail.npust.edu.tw

Abstract

Litchi (*Litchi chinensis*) is an important economic fruit crop in Taiwan; however, rapid pericarp browning after harvest severely reduces its market value and export competitiveness. This article reviews recent studies on the physiological mechanisms and control strategies of litchi pericarp browning. Browning is essentially an enzymatic oxidation process mainly catalyzed by polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD), which oxidize phenolic compounds into quinones that subsequently polymerize into brown pigments. This process is closely associated with the loss of cell membrane integrity. Postharvest water loss, chilling injury, and senescence can damage membrane structure, leading to the loss of cellular compartmentalization and allowing enzymes to interact with their substrates, thereby initiating browning reactions. In addition, anthocyanin degradation, accumulation of reactive oxygen species (ROS), and decline in antioxidant capacity further accelerate browning, while imbalance in energy metabolism exacerbates cellular deterioration. The main factors inducing browning include water loss, senescence, low-temperature injury, mechanical damage, and pathogen infection, which interact synergistically. Recent preservation technologies focus on maintaining membrane stability, including edible coatings, chemical treatments (e.g., salicylic acid and oxalic acid), precooling, and modified atmosphere packaging (MAP), all of which effectively delay browning and maintain fruit quality. In Taiwan, practical postharvest handling emphasizes rapid precooling, high-humidity storage, and cold chain integration to ensure quality stability. Future research should integrate physiological insights with industrial applications to develop safer, more efficient, and sustainable postharvest preservation technologies for litchi.

Keywords: pericarp browning, water loss, polyphenol oxidase, reactive oxygen species, membrane integrity, modified atmosphere packaging, postharvest preservation.

荔枝外銷紐西蘭之模擬試驗與實證經驗分享

林沛儒 [1,*]、徐敏記 [1]、梁佑慎 [2]

[1] 農業部農業試驗所作物組
[2] 國立屏東科技大學農園生產系
*聯繫人 e-mail: ju1210@tari.gov.tw

荔枝爲臺灣重要之高經濟價值果樹，因其外觀鮮紅、風味清甜多汁且具獨特花果香氣，深受消費者喜愛；惟其果皮薄且果肉含糖量高，採後耐貯運性較差，易發生果皮褐變與腐損，進而限制其長距離貯運與外銷發展。本研究以臺灣‘玉荷包’荔枝爲材料，針對輸往紐西蘭之船運外銷需求，設計冰水預冷與抑菌資材處理之模擬試驗，並彙整 114 年實際船運外銷流程與果實品質變化情形，進一步探討現行貯運管理對果實品質之影響。模擬試驗結果顯示，冰水預冷搭配 100 ppm 次氯酸水（T4）處理可有效降低果皮褐化與腐損率，於 0.5°C 模擬貯運 21 天後仍維持較高良果率；然而於 15°C 櫥架條件下，各處理良果率皆快速下降，顯示冷鏈末端爲品質維持之關鍵。實際外銷結果顯示，荔枝於採收至上櫃期間尚可維持良好外觀品質，但經長時間海運及檢疫處理後，果皮明顯褐化，商品價值下降，尤其於發現蟲卵後進行溴化甲烷燻蒸處理，進一步加劇品質劣變，雖果肉品質仍維持良好，但外觀劣變已成爲影響消費購買之主要限制因素。整體而言，荔枝外銷品質深受採前病蟲害管理，以及採後處理、貯運期間溫濕度穩定性與檢疫措施等因素影響，未來應加強採前病蟲害管理，並發展保色技術與優化抵港後品質控管，以提升臺灣荔枝外銷之穩定性與市場競爭力。

關鍵字：荔枝、紐西蘭外銷、冰水預冷、抑菌處理、保鮮

引言

荔枝（*Litchi chinensis* Sonn., Litchi 或 lychee）爲無患子科常綠果樹，原產於亞洲熱帶與亞熱帶地區。其果皮富含花青素，爲鮮紅外觀之來源；主要食用部位由假種皮構成之果肉，風味清甜、多汁且具獨特花果香氣，爲國內重要果樹產業之一。就產業現況而言，受全球氣候變遷影響，臺灣荔枝栽培面積在近 10 年呈逐年下降趨勢，至 2024 年已降至 9,534 公頃；外銷量亦由過往千餘公噸下滑至 200 公噸以下。在鮮果出口市場分布方面，依 2025 年外銷量統計，日本爲目前最主要出口國，占比約 86%；其次爲紐西蘭，占比約 6%；其他尙包括香港、澳大利亞及新加坡等市場。自 2007 年紐西蘭開放臺灣荔枝進口後，經歷市場拓展與推廣，終於在 2021 年首次成功輸出，並於 2023 年躍升爲荔枝鮮果第二大海外市場，屬極具發展潛力的新興市場(MPI, 2023; 農業部, 2025)。

臺灣荔枝外銷品種以‘黑葉’爲主，其次爲‘玉荷包’，而紐西蘭市場則以‘玉荷包’爲外銷主力。‘玉荷包’屬早熟高價品種，具有果實大、果肉厚及高糖酸比、香氣佳等優點，但其產量易受氣候影響，栽培技術門檻與成本較高(李雪如, 2007)。儘管近年產業受氣候影響劇烈，‘玉荷包’ 仍憑藉風味品質優異深受國外華人市場青睞。

荔枝採後貯運期間之主要損耗因子爲果皮褐變與腐損(Huang et al., 2024)。其中，褐變主要與花青素降解，以及多酚氧化酶（polyphenol oxidase, PPO）與過氧化物酶（peroxidase, POD）催化酚類物質氧化反應有關(Jiang et al., 2004)。Holcroft 與 Mitcham (1996)進一步指出，果皮失水會加速細胞結構破壞，使酵素與酚類受質接觸而啓動褐變反應，因此維持高相對溼度爲降低果皮褐變之關鍵。此外，於長時間低溫貯運期間，果實之可滴定酸與抗壞血酸等品質成分亦會持續下降，影響風味與營養品質，因此溫度管理成爲維持此類成分穩定之重要因子(Kays, 1991; Lee & Kader, 2000)。綜合上述，採後冷鏈管理及溼度控制對荔枝外銷品質之維持具有關鍵影響。實務上，具規模之生產者多於採收後儘速運回集貨包裝場，完成分級選別、預冷及保濕處理。常見預冷方式包括室內風冷、壓差預冷及冰水預冷，並可於處理水中添加抑菌劑進行噴灑或浸泡；續則依內外銷市場需求進行包裝與相關處理，全程維持低溫高濕環境，以維持果實品質(梁佑愼 et al., 2025)。

氯已被廣泛應用於園產品採收後消毒作業，被添加於鮮食果品的清洗與冷卻水中，其有效氯濃度多介於 50 ppm 至 200 ppm (Kader, 2002)，次氯酸（HOCl）爲氯系消毒之主要活性成分，透過氧化作用破壞微生物細胞膜及核酸代謝，達成廣譜抑菌效果，其效能受 pH 值、有效氯濃度及水中有機物負荷影響。依據衛生福利部訂定之「食品用洗潔劑衛生標準」，臺灣允許使用之含氯抑菌資材包括次氯酸、次氯酸鈉及二氧化氯。其中，因次氯酸水可現場電解製備、殘留量低且操作安全性較高，近年於截切蔬果與鮮食果品清洗作業中應用日益普遍。此外，D-檸檬烯（D-Limonene）爲近年發展之新興資材，屬柑橘類精油成分，透過奈米乳化技術可提升其於水中之分散性與穩定性，並增強其生物活性(Lin et al., 2024)。近期研究亦指出，D-檸檬烯奈米乳液應用於木瓜、香蕉及草莓等果實，具有良好之抑菌效果與延緩品質劣變之潛力(Dhital et al., 2018; Hou et al., 2022; Yu et al., 2023)。

本研究內容包含冰水預冷與抑菌資材輸紐外銷模擬試驗成果，並彙整 114 年實際船運外銷紐西蘭之流程紀錄與果實品質變化觀察。藉由這次分享，期能更全面了解荔枝採後處理與外銷貯運管理之現況，並進一步探討其優化與調整之可能方向。

冰水預冷及抑菌資材篩選模擬試驗成果分享

爲了能維持荔枝更好的採收後品質，降低外銷果品褐化與病腐情形，我們取高雄市大樹區栽種之荔枝果實進行冰水預冷與抑菌處理，並進行國內紐西蘭模擬貯運，調查品質是否有差異。

材料方法：

以‘玉荷包’品種荔枝作爲試驗材料，採收後於當地集貨包裝場進行冰水預冷與不同抑菌資材浸泡處理。冰水預冷浸泡時間 10 分鐘後，再進行資材溶液處理 30 秒，處理包含對照組 CK（商業作業模式）、T1（不冰水預冷 x 次氯酸水 100 ppm）、T2（不冰水預冷 x 二氧化氯 40 ppm）、T3（不冰水預冷 x D-檸檬烯奈米乳液 0.1%）、T4（冰水預冷 x 次氯酸水 100 ppm）、T5（冰水預冷 x 二氧化氯 40 ppm）、T6（冰水預冷 x D-檸檬烯奈米乳液 0.1%），處理後暫存於 15°C 半日即跟隨外銷果實北上運至處理場進行降溫與包裝，在上櫃前將其移出，進行 21 天的模擬船運處理（0.5°C），隨後進行二次選別與小包裝，再移入 15°C 下進行 2 天的模擬櫥架，並分別於模擬船運與櫥架後調查果實之良果率、腐損率及果皮褐化率，並評估果實品質，包括果皮顏色、硬度、可溶性固形物、可滴定酸及抗壞血酸含量等。每處理皆爲 3 重複。

結果與討論：

針對果實損耗情形，在 0.5°C 模擬船運 21 天後，以 T4 處理之良果率最高 (88.2%)，顯著優於其他處理，且腐損率（4.4%）與果皮褐化率（11.9%）亦爲最低；T1 與 T3 之良果率次之。相較之下，CK 之果皮褐化率最高（51.2%），導致其良果率顯著降低（48.1%），各處理裂果率則無顯著差異。經 15°C 模擬櫥架 2 天後，整體趨勢與前述結果一致，T4 處理仍維持最高良果率與最低腐損率及褐化率。然而，此階段各處理良果率皆降至 40%以下，顯示整體損耗情形嚴重，其中以 T6 處理品質下降最顯著，良果率僅 5.2% (表 1)。

果實品質調查結果顯示，模擬貯運後，可滴定酸與抗壞血酸含量較貯藏前明顯下降。於模擬櫥架後，各處理間之果皮亮度（L*值）與果汁全可溶性固形物、可滴定酸含量均無顯著差異，惟 T6 處理之果皮紅色程度（a*值）與抗壞血酸含量最低（表 2）。

相關研究指出，冰水預冷可快速降低荔枝果實溫度，減少水分散失並維持果皮色澤 (Liang et al., 2013; Zeng et al., 2026)。然而，由於冰水多爲循環使用，易累積有機質與腐敗微生物，增加污染風險，因此需搭配殺菌劑進行消毒處理(林棟樑, 2001)。本研究結果顯示，T4（冰水預冷結合次氯酸水）處理於模擬船運及櫥架條件下可有效降低腐損與果皮褐化，並維持較高良果率，與表現與 Liu et al. (2025)之結果一致。相較之下，T5（二氧化氯）與 T6（D-檸檬烯奈米乳液）於模擬櫥架階段腐損率（58.2%、79.1%）顯著高於 T4 (35.5%)，推測可能與抑菌資材於水中之穩定性，以及果皮微傷口後續感染差異有關，惟仍有待進一步試驗驗證。此外，櫥架階段仍觀察到品質快速劣變，顯示冷鏈末端管理爲影響外銷成效之關鍵因素。

在果肉品質方面，隨貯運時間延長，果汁中可滴定酸與抗壞血酸含量皆呈下降趨勢。其中，可滴定酸之降低主要源於呼吸作用消耗有機酸作爲能量基質(Brizzolara et al., 2020; Kays, 1991)，過度降酸可能導致風味變得淡薄(Jiang & Qiu, 1987)；抗壞血酸下降則可能與氧化降解及生合成速率降低有關，且溫度爲影響其貯運期間穩定性之關鍵因子(Lee & Kader, 2000)。雖低溫可減緩代謝速率，但於本試驗 21 天之長時間貯運後，兩者仍呈現明顯下降。值得注意的是，T6（D-檸檬烯奈米乳液）處理於模擬櫥架末期之抗壞血酸含

量顯著低於其他處理，此與該處理較高之損耗相呼應，推測可能與整體生理劣變程度較高有關。

整體而言，各處理間多數內在品質指標未達顯著差異，其主要影響表現在外觀褐化及腐損程度。

表 1. 不同貯運階段下各處理之良果率、腐損率、果皮褐化率及裂果率。

貯運階段	處理	良果率(%)			腐損率(%)			果皮褐化率(%)			裂果率(%)		
模擬船運 0.5°C, 21d	CK	48.1	±2.6	d[z]	16.2	±0.9	c	51.2	±2.7	a	0.71	±0.04	a
	T1	62.8	±3.1	bc	24.3	±0.9	ab	37.2	±3.1	bc	0.00	±0.00	a
	T2	55.9	±5.2	cd	28.4	±1.9	a	43.7	±4.9	ab	0.26	±0.26	a
	T3	73.0	±2.2	b	13.9	±1.2	c	27.1	±2.3	c	0.29	±0.29	a
	T4	88.2	±4.0	a	4.4	±1.2	d	11.9	±4.1	d	0.19	±0.19	a
	T5	53.0	±5.1	cd	21.6	±0.5	b	45.0	±5.1	ab	1.37	±0.69	a
	T6	54.0	±4.9	cd	21.6	±1.6	b	42.7	±4.9	ab	2.25	±1.12	a
模擬櫥架 15°C, 2d	CK	14.4	±1.0	c	48.9	±1.6	c	85.6	±1.0	b	0.00	±0.00	a
	T1	26.5	±4.3	b	54.9	±2.7	bc	73.5	±4.3	c	0.00	±0.00	a
	T2	27.4	±3.0	b	50.1	±1.3	c	72.6	±3.0	c	0.00	±0.00	a
	T3	19.0	±0.3	bc	58.5	±3.9	b	81.0	±0.3	bc	0.00	±0.00	a
	T4	39.5	±2.4	a	35.5	±1.6	d	60.5	±2.4	d	0.00	±0.00	a
	T5	13.4	±0.3	cd	58.2	±3.5	b	86.6	±0.3	ab	0.00	±0.00	a
	T6	5.2	±2.5	d	79.1	±1.3	a	94.8	±2.5	a	0.00	±0.00	a

[z] Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at $p < 0.05$. Continuous data were analyzed by ANOVA with Fisher's protected LSD, and non-normally distributed data by the Kruskal–Wallis test followed by Dunn's test when significant.

表 2. 不同貯運階段下各處理之果皮顏色、可溶性固形物、可滴定酸與抗壞血酸含量。

貯運階段	處理	果皮顏色 L* value			果皮顏色 a* value			可溶性固形物 (°Brix)			可滴定酸 (%)			抗壞血酸 (mg/100 g)		
貯運前		37.3	±0.5		17.9	±0.6		18.1	±0.1		0.172	±0.004		39.3	±1.5	
模擬船運 0.5°C, 21d	CK	29.3	±1.7	a[z]	15.0	±1.7	a	17.7	±0.3	a	0.127	±0.004	a	31.5	±0.6	a
	T1	30.0	±0.1	a	17.4	±0.7	a	18.1	±0.3	a	0.140	±0.005	a	31.8	±1.5	a
	T2	31.2	±3.1	a	15.2	±0.7	a	17.1	±0.7	a	0.144	±0.012	a	30.3	±1.5	a
	T3	31.7	±1.8	a	15.3	±2.0	a	17.0	±0.1	a	0.143	±0.007	a	32.5	±1.0	a
	T4	30.0	±0.6	a	16.2	±0.1	a	18.0	±0.3	a	0.156	±0.001	a	32.1	±3.3	a
	T5	28.8	±2.0	a	14.3	±0.6	a	17.5	±0.1	a	0.130	±0.003	a	27.9	±2.1	a
	T6	30.3	±0.5	a	15.6	±0.5	a	18.1	±0.2	a	0.139	±0.001	a	28.8	±0.9	a
模擬櫥架 15°C, 2d	CK	34.4	±0.6	a	15.8	±0.8	a	18.3	±0.1	a	0.124	±0.007	a	25.5	±0.3	b
	T1	35.5	±0.5	a	15.6	±0.2	a	18.1	±0.3	a	0.120	±0.003	a	33.7	±0.9	a
	T2	32.8	±1.5	a	13.1	±0.5	b	17.4	±0.1	a	0.113	±0.005	a	31.3	±2.7	a
	T3	33.4	±0.3	a	14.2	±0.3	ab	17.9	±0.4	a	0.126	±0.005	a	33.8	±1.2	a
	T4	34.4	±0.9	a	14.4	±0.5	ab	17.4	±0.4	a	0.132	±0.008	a	31.9	±0.7	a
	T5	34.1	±0.9	a	13.5	±0.6	b	17.4	±0.2	a	0.116	±0.004	a	24.3	±2.0	b
	T6	31.9	±0.5	a	11.1	±0.8	c	17.5	±0.4	a	0.130	±0.001	a	20.9	±0.2	b

[z] Means within each column followed by the same letter(s) are not significantly different at $p < 0.05$. Continuous data were analyzed by ANOVA with Fisher's protected LSD, and non-normally distributed data by the Kruskal–Wallis test followed by Dunn's test when significant.

紐西蘭外銷歷程與品質實況

於 2025 年度，以'玉荷包'荔枝爲材料，針對採收、低溫處理、裝櫃至船運出口紐西蘭之全程作業流程進行紀錄，並同步觀察各階段之果實品質變化。參考前述試驗結果，冰水預冷結合次氯酸水處理可有效提升商品到貨之可售率，故於低溫處理場另採用 100 ppm 次氯酸冰水浸泡 30 秒，以加強抑菌效果。

1. 紐西蘭外銷歷程

‘玉荷包’荔枝於 5 月 31 日採收自高雄市大樹區果園，採收當日集貨並以冷藏車北上運送至低溫處理場。果實抵達後於 1°C 下暫存，並分別於 6 月 2 日（第 2 天）與 6 月 5 日（第 5 天）完成次氯酸水處理（100 ppm 浸泡 30 秒）與裝籃包裝作業。處理完成後，果實移至-2~-1°C 冷藏庫降溫，並於 6 月 6 日（第 6 天）進行裝櫃上櫃（圖 1、圖 2）。上櫃後進入等待船期階段，並於 6 月 12 日（第 12 天）自高雄港啓航，採運輸途中冷藏殺蟲處理，於裝櫃後果心溫度達 0.99℃以下起算，須持續維持該條件達 17 天。貨品最終於 6 月 27 日（第 27 天）抵達紐西蘭港口。

抵港後於 6 月 30 日（第 30 天）進行清關檢疫時發現活蟲卵，故於隔日（第 31 天）即進行溴化甲烷燻蒸處理後始得開櫃。燻蒸後果實於 5°C 條件下暫存 1 日，並於 7 月 2 日（第 32 天）重新分裝成小包裝（600 g），隨後進入市場流通（圖 1）。

2. 輸紐荔枝品質實況

針對荔枝果實品質變化，觀察自採收至低溫處理、裝櫃及海運過程各階段之影響，其外觀品質變化如圖 1 所示。於採收至上櫃約一週期間，雖全程儘量維持低溫高濕環境，仍因溫度微幅波動及搬運過程之摩擦影響，果皮尖端逐漸出現輕微褐化現象。然而整體果皮顏色仍可維持鮮紅帶綠之外觀，商品性尚屬良好。

經海運抵達紐西蘭後，果實外觀品質明顯下降。果皮亮度降低，原有綠色逐漸消退，轉爲黃褐與暗紅混合色澤，並伴隨局部內外果皮出現片狀褐化，該現象於檢疫後進行溴化甲烷燻蒸處理（約 12°C、2 小時）後更加嚴重。燻蒸後果實於 5°C 暫存 1 日，果皮進一步失水乾縮，整體轉爲灰褐色，外觀商品價值顯著降低。值得注意的是，本試驗經次氯酸水處理之果實，其霉腐發生程度相對較低；雖外觀出現明顯褐變，但內部果肉仍維持飽滿，且風味表現良好。

經分析荔枝外銷流程自採收至最終上架，各階段均存在不同程度之品質風險。採收初期爲關鍵環節，若採收後未能迅速完成降溫並銜接至低溫處理場，將影響後續保鮮效果。於抑菌處理、包裝及裝櫃等作業過程中，因操作需求造成之短暫溫度回升，應盡可能控制於 5°C 以下且幅度越小越佳，以降低品質劣變風險。抵達紐西蘭集貨場後，爲溫度波動最爲劇烈之環節。此時期因燻蒸處理導致冷鏈中斷，除藥劑影響外，升溫可能加速果實水分散失，高溫差也會因冷凝水形成而提高後續腐敗風險。此外，開櫃後之暫存階段若環境濕度控制不當，易造成果皮快速失水乾縮，因此維持高濕環境亦爲重要管理重點。整體而言，荔枝外銷冷鏈各階段環環相扣，品質維持有賴前後流程之協同控制，任何環節之溫濕度管理失當皆可能累積影響最終商品性，故各階段需緊密配合，以確保外銷鮮果品質穩定並符合市場需求。

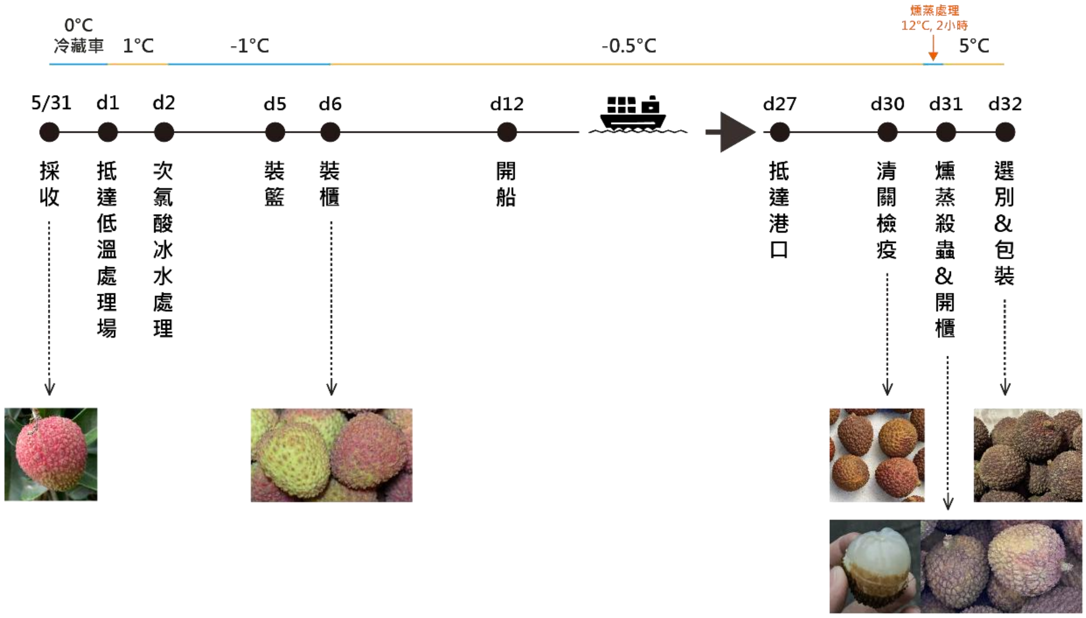

圖 1. 2025 年荔枝外銷紐西蘭之處理與運輸時程及果實外觀品質變化。

圖 2. 荔枝紐西蘭外銷上櫃前作業。(A) 次氯酸冰水處理；(B) 裝籃包裝形式；(C) 高濕低溫冷藏庫；(D) 裝櫃上櫃作業。

結語與展望

在高溫低濕環境下，荔枝果實通常在採收後 12 小時內開始褐化(Underhill & Critchley, 1993)，於 3 天或更短時間內品質達不可售(Campbell, 1960)，顯示其採後保鮮之困難性。即使採後立即降溫並維持高濕條件進行長程低溫貯運，若期間溫度與濕度控制不穩定，仍易導致果皮快速褐變，並伴隨霉腐酸敗等現象，進而降低其商品價值。荔枝外銷紐西蘭過程須歷經長時間船運及檢疫殺蟲處理，對果實品質影響甚大；此外，抵港後之滯留、暫存、再包裝與櫥架階段，亦常伴隨溫濕度波動，使品質下降難以避免。尤其當檢疫發現蟲卵而需進行燻蒸處理時，更對品質造成衝擊，突顯田間病蟲害防治與採後品管選別之重要性。

未來可由多面向進行思考優化，包括：一為強化採前病蟲害管理與採後分級選別，以生產高品質果品為基礎；二為持續落實採後快速預冷、保濕及抑菌處理，並積極發展替代硫處理之保色技術；三為提升冷鏈穩定性及強化抵港後之品質管理亦為重要課題。透過各面向的整合與持續精進，將有助於提升臺灣荔枝外銷之穩定性與國際市場競爭力。

參考文獻

李雪如。2007。'玉荷包'荔枝結實管理技術。高雄區農技報導 86: 3–15 https://doi.org/10.29577/yywyll.200712.0001

林棟樑。2001。蔬果預冷保鮮技術。臺南區農業改良場技術專刊 115: 1–18 https://doi.org/10.29559/zhwhgx.200112.0001

梁佑慎、徐敏記、方信秀、黃慶文。2025。荔枝. In 劉碧鵑 (Ed.), 外銷果樹採後處理專書 (pp. 21)。農業部農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所

農業部。2025。農業統計資料查詢系統。取自：https://agrstat.moa.gov.tw/sdweb/public/trade/tradereport.aspx

Brizzolara, S.; Manganaris, G.A.; Fotopoulos, V.; Watkins, C.B.; Tonutti, P. Primary metabolism in fresh fruits during storage. Front. Plant Sci. 2020, 11, 80.

Campbell, C.W. Storage behavior of fresh Brewster and Bengal lychees. Proc. Fla. State Hortic. Soc. 1960, 72, 356–360.

Dhital, R.; Mora, N.B.; Watson, D.G.; Kohli, P.; Choudhary, R. Efficacy of limonene nano coatings on post-harvest shelf life of strawberries. LWT 2018, 97, 124–134.

Holcroft, D.M.; Mitcham, E.J. Postharvest physiology and handling of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). Postharvest Biol. Technol. 1996, 9, 265–281.

Hou, C.-Y.; Hazeena, S.H.; Hsieh, S.-L.; Li, B.-H.; Chen, M.-H.; Wang, P.-Y.; Zheng, B.-Q.; Liang, Y.-S. Effect of D-limonene nanoemulsion edible film on banana (*Musa sapientum* Linn.) post-harvest preservation. Molecules 2022, 27, 6157.

Huang, C.C.; Paull, R.E.; Wang, T.T. Litchi postharvest physiology and handling. Crop Sci. 2024, 64, 2014–2063.

Huang, H.; Qiu, Y. Growth correlations and assimilate partitioning in the arillate fruit of *Litchi chinensis* Sonn. Aust. J. Plant Physiol. 1987, 14, 181–188.

Jiang, Y.; Duan, X.; Joyce, D.; Zhang, Z.; Li, J. Advances in understanding of enzymatic browning in harvested litchi fruit. Food Chem. 2004, 88, 443–446.

Kader, A.A. Postharvest technology of horticultural crops. 2002.

Kays, S.J. Postharvest physiology of perishable plant products. Van Nostrand Reinhold, New York 1991, 532 pp.

Lee, S.K.; Kader, A.A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. Postharvest Biol. Technol. 2000, 20, 207–220.

Liang, Y.S.; Wongmetha, O.; Wu, P.S.; Ke, L.S. Influence of hydrocooling on browning and quality of litchi cultivar Feizixiao during storage. Int. J. Refrig. 2013, 36, 1173–1179.

Lin, H.; Li, Z.; Sun, Y.; Zhang, Y.; Wang, S.; Zhang, Q.; Cai, T.; Xiang, W.; Zeng, C.; Tang, J. D-Limonene: Promising and sustainable natural bioactive compound. Appl. Sci. 2024, 14, 4605.

Liu, I.; Lin, H.; Chen, C. Control of Unexpected *Mucor lusitanicus* in Litchi Fruit by Hydrocooling with Hypochlorous Acid and Cold Storage. Horticulturae 2025, 11, 83.

Ministry for Primary Industries. Import Health Standard Commodity Sub-class: Fresh Fruit/Vegetables Lychee, (Litchi chinensis) from Taiwan. Issued pursuant to sections 24A and 166A of the Biosecurity Act 1993. New Zealand 2023.
Underhill, S.J.; Critchley, C. Physiological, biochemical and anatomical changes in lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) pericarp during storage. J. Hortic. Sci. 1993, 68, 327–335.
Yu, M.-C.; Hou, C.-Y.; Hsieh, C.-W.; Tsay, J.-S.; Chung, H.-Y.; Liang, Y.-S. Effects of D-Limonene Nanoemulsion Coating on Post-Harvest Quality and Physiology of Papaya. Horticulturae 2023, 9, 975.
Zeng, Z.; Wang, J.; Lu, H.; Deng, Z.; Liu, D.; Guo, P.; Ding, Z.; Lü, E.; Guo, J. Effect of Different Pre-Cooling Methods on the Quality of Litchi During Cold Storage. Agronomy 2026, 16, 428.

Simulated trials and empirical experiences of litchi exported to New Zealand

Pei-ju Lin[1,*], Min-Chi Hsu[2] and Yu-Shen Liang[3]

1 Division of Crop Science, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture; ju1210@tari.gov.tw
2 Division of Crop Science, Taiwan Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture; mchsu@tari.gov.tw
3 Department of Plant Industry, National Pingtung University of Science and Technology; justinliang@mail.npust.edu.tw
* Correspondence: ju1210@tari.gov.tw

Abstract

Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) is a high-value fruit crop in Taiwan, highly favored by consumers for its vibrant red skin, sweet and juicy flesh, and unique floral aroma. However, its thin pericarp and high sugar content make it highly susceptible to postharvest browning and decay, which limits its potential for long-distance transport. This study focused on the 'Yu Her Pau' litchi cultivar, where simulated trials incorporating hydrocooling and antimicrobial treatments were designed to address the requirements for sea-freight export to New Zealand. Furthermore, the logistics of actual sea-freight export and changes in fruit quality in 2025 were documented to evaluate the impact of current storage and transport management on fruit quality. The results of the simulated trials indicated that hydrocooling combined with 100 ppm hypochlorous acid (T4) effectively reduced pericarp browning and decay rates, maintaining a higher marketable fruit rate after 21 days of simulated storage at 0.5 °C. However, under shelf-life conditions at 15 °C, the marketable rate for all treatments declined rapidly, highlighting the end of the cold chain as the critical stage for quality maintenance. Export results showed that litchi maintained good visual quality from harvest until container loading. However, following prolonged sea-freight and quarantine protocols, significant pericarp browning occurred, reducing commercial value. In particular, methyl bromide fumigation, conducted after the detection of insect eggs, further exacerbated quality deterioration. Although pulp quality remained stable, visual degradation became the primary constraint on consumer acceptance. Overall, the export quality of litchi is profoundly influenced by preharvest pest and disease management, postharvest treatments, temperature and humidity stability during transport, and quarantine measures. It is recommended to focus on preharvest management, developing color-retention technologies, and optimizing post-arrival quality control to enhance the stability and market competitiveness of Taiwanese litchi.

Keywords: Litchi, New Zealand export, Hydrocooling, Antimicrobial treatment, Postharvest handling

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

題名/著者: 未來生產力 : 荔枝及龍眼科研技術精進與產業實務研討會專刊 = Future productivity : proceedings of the symposium on technical advancements and industry practices in litchi and longan production / 方信秀, 向為民, 朱彧瑩, 吳昭蓉, 李文立, 林沛儒, 邱國棟, 柯昱成, 洪子桓, 徐敏記, 郝秀花, 張仁育, 張哲瑋, 許祐昇, 蔡耀賢, 謝雨蒔, 李昱錡, 朱堉君, 李雪如, 林子文, 邱亭瑋, 林宗賢, 張哲嘉, 梁佑慎, 陳泰安作
版本: 初版
出版: 臺中市 : 農業部農業試驗所, 民 115.07
集叢: 農業試驗所特刊 ; 第 255 號 | 農試所出版品. 2026 年 ; 3 號
識別碼: ISBN 978-626-446-065-1（平裝）| CIP 115010789
主題詞: LCSTT: 荔枝 | LCSTT: 龍眼 | LCSTT: 栽培 | LCSTT: 產業發展
分類號: 435.32

集　　叢：農業試驗所特刊;第 255 號
編　　號：農試所出版品 2026 年-03 號
書　　名：未來生產力：荔枝及龍眼科研技術精進與產業實務研討會專刊
發 行 人：王仕賢
主　　編：朱彧瑩、官青杉、張哲瑋
作　　者：農業部農業試驗所(方信秀、向為民、朱彧瑩、吳昭蓉、李文立、林沛儒、邱國棟、柯昱成、洪子桓、徐敏記、郝秀花、張仁育、張哲瑋、許祐昇、蔡耀賢、謝雨蒔)；農業部臺中區農業改良場(李昱錡)；農業部高雄區農業改良場(朱堉君、李雪如、林子文)；農業部花卉創新園區研究發展中心(邱亭瑋)；國立臺灣大學(林宗賢)；國立中興大學(張哲嘉)；國立屏東科技大學(梁佑慎)；凌聚農業科技股份有限公司(陳泰安)
出版機關：農業部農業試驗所
地　　址：臺中市霧峰區萬豐里中正路 189 號
網　　址：https://www.tari.gov.tw
電　　話：(04)2330-2301
出版年月：115 年 7 月
版　　次：初版
定　　價：非賣品
承 印 者：尚鴻企業社/600 嘉義市福民里新民路 707 巷 25 號 1 樓 (05)2718656
展售門市：1.國家書店/104 臺北市松江路 209 號 1 樓 (02)2518-0207
　國家網路書店 http://www.govbooks.com.tw
2.五南文化廣場/400 臺中市中山路 6 號 (04)2226-0330
I S B N：978-626-446-065-1
G P N：1011500886
版權所有、轉載須經本所同意